

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

**PODOCONIOSIS:  
GEOLOGÍA, BIOLOGÍA Y PATOLOGÍA DE UNA  
ENFERMEDAD OLVIDADA**

LAURA PRIETO PÉREZ

Directores: Dr. D. Miguel Górgolas Hernández-Mora

Dr. D. José Manuel Ramos Rincón

**2016**

**África. Mapa político-administrativo. 1858**

Map of Africa [Material cartográfico]: compiled from the most authentic accounts of Travels, Ancient and Modern / including those performed under the Patronage of the African Association ; by Mungo Park, Hornemann, Major Houghton, & ; likewise those of Burchell... [et al.]; assisted by the Reports of the Missionary Societies. -- Escala [ca. 1:5.600.000]. Gráfica de 400 millas inglesas [= 11,5 cm] (O 30°-E 60°/N 35°-S 35°). -- London : Published by James Wyld, Charring Cross, 1858. *(Imagen obtenida a través del Instituto Geográfico Nacional. Madrid. España).*







# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

## FACULTAD DE MEDICINA



D. **Miguel Górgolas Hernández-Mora**, doctor en Medicina y Cirugía del Departamento de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid y de la División de Enfermedades Infecciosas de la Fundación Jiménez Díaz, y D. **José Manuel Ramos Rincón**, doctor en Medicina y Cirugía del Departamento de Medicina Clínica de la Universidad Miguel Hernández de Elche y del Servicio de Medicina Interna del Hospital General Universitario de Alicante,

### CERTIFICAN:

Que Dña. Laura Prieto Pérez, licenciada en Medicina, especialista en Medicina Interna, ha completado bajo su dirección los trabajos conducentes a la obtención de resultados para optar al título de doctor por la Universidad Autónoma de Madrid. Y en vista de lo adecuado de su desarrollo, se autoriza la presentación de esta Tesis Doctoral para su evaluación.

En Madrid, a 28 de octubre de 2016.

Fdo.: D. Miguel Górgolas Hernández-Mora

D. José Manuel Ramos Rincón

La interesada,  
Laura Prieto Pérez



**A mis padres y hermanos**



## **AGRADECIMIENTOS**

Al recordar a todas aquellas personas, lugares y circunstancias que me ayudaron en estos tres años que he dedicado al estudio de la podoconiosis, sólo cumplo con un tan grato como justo deber.

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud y reconocimiento a los Dres. Miguel Górgolas y José Manuel Ramos, por la confianza depositada en mí y en este trabajo; su dirección, estímulo y el constante aporte de ideas han sido fundamentales a lo largo del recorrido que ha supuesto la realización de esta Tesis Doctoral.

Al mismo tiempo, debo dar las gracias al Hermano Francisco Reyes Rabell, Director del Hospital Rural de Gambo, y a la Misión Católica del Instituto Misionero de la Consolata en Gambo, Etiopía, por su cálida acogida brindada durante mi estancia. Y, cómo no, a sister Eudoxa, misionera capaz de realizar allí una obra grande y callada desde hace años, por regalarme cada día su amistad generosa y el ejemplo de su labor.

A Biruk Kebede, director del Plan Nacional de Podoconiosis; Meskerem Yoseph, representante de Mossy Foot International; Sharon Barlow, presidente de Mossy Foot Association; y la doctora Gail Davey, profesora titular de Salud Global en Brighton & Sussex Medical School, que hicieron posible nuestra visita a la sede de la Mossy Foot Association en Wolaita Sodo, Etiopía. Estancia que permitió ampliar mi conocimiento en el tratamiento de la podoconiosis y desarrollar un proyecto para su potencial erradicación en el área de Gambo. Proyecto que comenzamos ahora, en 2016, transcurridos tres años desde el comienzo de este trabajo, gracias a la desinteresada colaboración de la Fundación Barceló en Palma de Mallorca, a través de Dña. Amelia Fornes y D. Rafael Torra, y la Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid en su Unidad de Formación Continuada y Actividades Culturales. Resalto aquí la participación activa de D. Teodoro Lazo, coordinador filántropo en esta iniciativa.

Debo reconocer a los Dres. Abraham Tesfamarian y Seble Balcha la labor encomiable que llevan a cabo a diario en el Hospital de Gambo, un trabajo apenas reconocido que supera lo meritorio.

No puedo olvidar la ayuda prestada por Corado Paulos y Joe Hirpo, inestimables intérpretes locales que tradujeron del oromo al inglés los testimonios de los pacientes de la manera más fidedigna posible.

Mención especial merecen el Dr. Carlos Zarco, dermatólogo del Hospital 12 de Octubre de Madrid, y el Dr. José Fortes, anatomopatólogo de la Fundación Jiménez Díaz, por la realización, procesamiento e interpretación de las biopsias cutáneas tomadas en el terreno.

Toda mi gratitud al Dr. Ramón Pérez Tanoira, amigo y compañero de batallas, por mantener el sentido del humor incluso en los momentos más difíciles, por su ayuda y su compañía.

Gracias a D. Juan José Soriano Cea, D. Jesús Reyes y al Instituto Geológico y Minero de España, por su generosidad y profesionalidad en el análisis mineral de las muestras recogidas en Etiopía.

Precisamente en Etiopía conocí a las que pronto se convirtieron en personas de mi más profunda confianza y a las que hoy puedo llamar *amigas*: Inés Martín y María José Herrero.

A Elizabet Petkova y Violeta Carrasco, por su estrecha amistad, por su ayuda y cercanía a lo largo de todo este tiempo.

Finalmente, quiero rendir homenaje a los pacientes, silenciosos, en los que siempre encontré un gesto de gratitud y simpatía. En especial Aster Urbanos y Gamachu Safaun, colaboradores a día de hoy en nuestro proyecto para el tratamiento de la enfermedad en Etiopía.



## ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES RELACIONADOS CON LA TESIS

### ARTÍCULOS

- |      |  |  |
|------|--|--|
| 2015 | <i>Podoconiosis: enfermedad olvidada por la sociedad y la comunidad médica.</i> Laura Prieto-Pérez, Juan José Soriano Cea, Miguel Górgolas Hernández-Mora. | Medicina Clínica (Barc.) 2015; 145: 446-451. |
|------|--|--|

### COMUNICACIONES ORALES A CONGRESOS

- |      |   |  |
|------|---|--|
| 2014 | <i>Podoconiosis: una enfermedad olvidada.</i> Experiencia en Etiopía. | III Jornadas de Cooperación al Desarrollo y Salud. Universidad Miguel Hernández de Elche. Plan Divulga UMH. Alicante, 2014 |
|------|---|--|

### PUBLICACIONES Y OTRAS COMUNICACIONES

- |      |   |   |
|------|---|---|
| 2014 | <i>Medicina del Viajero.</i> Miguel Górgolas y José Manuel Ramos.               | Ed.Médica Panamericana                  |
| 2014 | <i>Cuando la tierra contagia.</i> L. Prieto Pérez y M. Górgolas Hernández-Mora. | El País digital, sección Planeta futuro |

### OTROS MÉRITOS

- |               |   |                                |
|---------------|---|--------------------------------|
| 2013-<br>2016 | Colaboradora docente en el Máster Propio de Medicina Tropical y Salud Internacional | Universidad Autónoma de Madrid |
|---------------|---|--------------------------------|



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	i
ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES RELACIONADOS CON LA TESIS .....	iii
ÍNDICE .....	v
ABREVIATURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
SUMMARY .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
1 Historia de la podoconiosis .....	2
2 La podoconiosis en el siglo XX.....	6
3 Geografía y geología de la podoconiosis.....	7
4 Etiopía. Apunte histórico .....	8
5 Geografía física y regiones de Etiopía .....	12
6 Geografía Política de Etiopía .....	17
7 Flora, fauna y agricultura de Etiopía .....	19
8 El suelo .....	21
8.1 Color y clasificación de los suelos .....	21
8.2 Clasificación por su funcionalidad .....	22
8.3 Por su composición y características físicas .....	23
8.4 Horizontes, estructura y componentes del suelo .....	24
8.5 Textura del suelo. Granulometría y elementos químicos del suelo .....	27
8.6 Agua y permeabilidad del suelo. Relación del agua con los sólidos del suelo .....	29
8.7 Caracterización geoquímica de las aguas .....	30
8.7.1 Diagrama de Piper .....	31
8.7.2 Diagrama de Schoeller-Berkaloff .....	32
8.7.3 Diagrama de Stiff .....	33
8.8 Parámetros de calidad de las aguas.....	34
8.8.1 Conductividad eléctrica del agua.....	34
8.8.2 pH del agua.....	34
8.8.3 Nitritos y nitratos en el agua.....	35
8.8.4 Clasificación de las aguas para riego.....	35
8.9 Permeabilidad, perfil y balance hídrico del suelo .....	36
8.10 Gases, flora, fauna, microorganismos y pH del suelo .....	37
8.11 Degradación del suelo .....	40
8.12 Granulometría del suelo .....	40
8.13 Análisis cualitativo y cuantitativo del suelo .....	41
8.14 Calor y suelo .....	41
8.15 Geosfera. Teoría tectónica de placas. Capas de la Tierra .....	42
8.16 Volcanes y lavas .....	45
8.16.1 Piroclastos .....	47
8.16.2 Terrenos de origen volcánico .....	48
8.17 Silicio, sílice y silicatos. Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas .....	49
8.18 Arcillas .....	52
8.19 Lavas de los volcanes del Valle del Rift.....	53

<b>8.20 Patogenia de las lesiones producidas por sílice, bario, berilio, cinc, circonio, vanadio, uranio y torio .....</b>	<b>54</b>
8.20.1 Sílice .....	54
8.20.2 Bario .....	56
8.20.3 Berilio .....	56
8.20.4 Cinc.....	59
8.20.5 Circonio .....	60
8.20.6 Torio .....	60
8.20.7 Uranio .....	61
8.20.8 Vanadio.....	62
<b>9 Patogenia, clínica y genética de la podocóniosis.....</b>	<b>63</b>
<b>10 Gambo. Misión de la Consolata y Hospital General Rural.....</b>	<b>65</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>73</b>
<b>1 Objetivo principal .....</b>	<b>73</b>
<b>2 Objetivos secundarios.....</b>	<b>73</b>
<b>PACIENTES, MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>75</b>
<b>1 Serie clínica.....</b>	<b>77</b>
1.1 Definición de caso y estadios de la podocóniosis .....	77
1.2 Búsqueda activa de casos .....	78
1.3 Datos recogidos de los pacientes.....	80
1.4 Consentimiento informado. Tratamiento y seguimiento de los pacientes .....	80
<b>2 Estudio de suelos y aguas .....</b>	<b>81</b>
2.1 Recepción y secado de las muestras de suelos.....	81
2.2 Preparación física de las muestras de suelos.....	82
2.3 Análisis de las propiedades físicas de los suelos .....	83
2.4 Análisis granulométrico .....	83
2.5 Análisis físico-químico del suelo.....	84
2.5.1 Espectrometría mediante fluorescencia por rayos X.....	84
2.5.2 Difracción por rayos X (DRX).....	86
2.5.3 Digestión ácida secuencial de las muestras.....	87
2.5.4 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) .....	88
2.5.5 Espectroscopia de absorción atómica de llama (EAA) .....	89
2.6 Análisis de las muestras de aguas.....	89
<b>3 Estudio de las biopsias cutáneas .....</b>	<b>90</b>
3.1 Toma, conservación y tinciones de las biopsias.....	90
3.2 Estudio de minerales y elementos traza en las biopsias .....	92
3.3 Estudio de hongos .....	92
<b>4 Análisis de los datos .....</b>	<b>93</b>
4.1 Base de datos .....	93
4.2 Análisis estadístico.....	93
<b>5 Aspectos éticos.....</b>	<b>94</b>
<b>6 Diseño de un plan de intervención.....</b>	<b>94</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
<b>1 Diseño del plan de intervención .....</b>	<b>99</b>
1.1 Implantación de una estrategia de tratamiento durante un año en el Hospital General Rural de Gambo.....	99
1.2 Búsqueda activa de casos .....	100

<b>2</b>	<b>Resultados De la serie clínica .....</b>	<b>100</b>
2.1	Características epidemiológicas y demográficas .....	100
2.2	Características clínicas .....	104
2.2.1	Estadio de la enfermedad.....	104
2.2.2	Sexo y edad de los pacientes .....	107
2.2.3	Sexo y estadio clínico .....	107
2.2.4	Edad y estadio clínico.....	108
2.2.5	Edad y alfabetización.....	108
2.2.6	Edad y creencias de los pacientes sobre la causa de la podoconiosis.....	109
2.2.7	Sexo de los enfermos y familiares afectados .....	111
2.2.8	Edad y número de familiares afectados .....	111
2.2.9	Edad y lesiones musgosas.....	112
2.2.10	Sexo y lesiones musgosas .....	112
2.2.11	Relación entre lesiones musgosas y estadio clínico .....	113
2.2.12	Relación entre edad, estadio clínico y heridas cutáneas.....	113
2.2.13	Relación entre sexo y heridas.....	114
2.2.14	Simultaneidad de heridas y lesiones musgosas .....	115
2.2.15	Sexo y tiempo descalzos .....	115
2.2.16	Edad y tiempo descalzos .....	116
2.2.17	Uso de calzado en varones y mujeres.....	116
2.2.18	Sexo y tipo de calzado.....	117
2.2.19	Edad y uso de calzado .....	117
2.2.20	Edad y tipo de calzado .....	118
<b>3</b>	<b>Resultados de los estudios de suelos y aguas.....</b>	<b>119</b>
3.1	Resultados de los análisis de las muestras de suelos .....	119
3.1.1	Resultados de la granulometría de suelos .....	122
3.1.2	Determinaciones químicas de los suelos .....	124
3.2	Análisis de las muestras de agua.....	129
3.2.1	pH, conductividad eléctrica, aniones, cationes, sílice, nitritos, nitratos y caracterización de las aguas para riego.....	129
3.2.2	Concentraciones de elementos traza en las aguas.....	134
<b>4</b>	<b>Resultado del estudio de biopsias.....</b>	<b>139</b>
4.1	Metales traza .....	139
4.2	Anatomía patológica .....	141
4.3	Dermatofitos .....	142
	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>147</b>
<b>1</b>	<b>Diseño del plan de intervención. Búsqueda activa de casos .....</b>	<b>147</b>
<b>2</b>	<b>Serie clínica .....</b>	<b>148</b>
2.1	Características clínicas y epidemiológicas .....	148
2.2	Alfabetización e ideas sobre las causas de la podoconiosis.....	150
2.3	Incidencia familiar .....	152
2.4	Estado civil.....	152
2.5	Lesiones cutáneas .....	153
2.6	Calzado .....	154
2.7	Distancia a la fuente de agua.....	158
2.8	Aislamiento .....	158
<b>3</b>	<b>Factores predisponentes .....</b>	<b>158</b>
3.1	Factores ambientales .....	158
3.2	Factores individuales .....	163
3.2.1	Caminar descalzo.....	164
3.2.2	Percepción del riesgo e ideas sobre las causas de la podoconiosis.....	165

<b>4</b>	<b>Repercusión de la podoconiosis .....</b>	<b>166</b>
<b>5</b>	<b>Suelos.....</b>	<b>174</b>
5.1	Arcillas.....	175
5.2	Elementos mayoritarios .....	177
5.3	Elementos traza .....	179
<b>6</b>	<b>Agua .....</b>	<b>184</b>
6.1	Tierras, lluvia, ríos y lagos .....	184
6.2	Análisis de las muestras de aguas.....	186
6.2.1	pH y conductividad eléctrica (CE) .....	186
6.2.2	Sílice.....	188
6.2.3	Nitratos, aniones y cationes.....	188
6.2.4	Elementos traza en las muestras de agua.....	191
<b>7</b>	<b>Biopsias .....</b>	<b>193</b>
7.1	Elementos traza .....	194
7.2	Micosis .....	195
<b>8</b>	<b>Experiencia y análisis del porqué del olvido de la podoconiosis. Dificultad del seguimiento de los pacientes.....</b>	<b>196</b>
8.1	Dificultad del seguimiento. La pobreza como primer factor .....	196
8.2	Educación .....	198
8.3	Médicos y enfermeras.....	201
8.4	Infraestructuras .....	202
8.4.1	Agua y saneamiento .....	202
8.4.2	Carreteras .....	204
8.4.3	Fuentes de energía.....	205
8.4.4	Deforestación .....	208
	<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>213</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>221</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>223</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>253</b>



## ABREVIATURAS

AENOR: Asociación Española de Normas y Certificación

APA: *Action on Podoconiosis Association*

CIA: Capacidad de Intercambio Aniónico

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

CoStiDA: *Community Sustainability Development Aid*

CPA: *Community Podoconiosis Agent*

DFID: *Department for International Development*

DRX: Difracción por Rayos X

EAA: Espectrometría de Absorción Atómica

EPA: *Environmental Protection Agency*

FAO: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FRDPE: Frente Revolucionario Democrático del Pueblo Etíope

GPS: *Global Positioning System*

ICP-AES: Espectrometría de plasma acoplado inductivamente

ICP-MS: Espectrometría de plasma acoplado inductivamente con detección de masas

IGME: Instituto Geológico y Minero de España

LA-ICP-MS: Ablación con láser y espectrometría de masas en plasma acoplado inductivamente

LSTM: *Liverpool School of Tropical Medicine*

μS: Microsiemens

MCC: Máxima Concentración Contaminante

MFI: *Mossy Foot International*

MFPT: *Mossy Foot Prevention and Treatment Association*

NaPAN: *National Podoconiosis Action Network*

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

PPP: *Preventing Podo Project*

SNNPRS: *Southern Nations, Nationalities, and Peoples Regional States*

TL: Termoluminiscencia

UNE: Una Norma Española

## RESUMEN

La podoconiosis es una enfermedad geoquímica producida por la exposición del pie descalzo a suelos de origen volcánico ricos en sílice. Debido a los microtraumatismos repetidos, estas micropartículas minerales penetran a través de la piel produciendo un linfedema crónico irreversible sin tratamiento. La podoconiosis, o elefantiasis endémica no filariásica o *mossy foot disease*, se encuentra dentro de las consideradas enfermedades olvidadas y es prevalente en muchos países en vías de desarrollo, en altitudes superiores a los 1500 m sobre el nivel del mar.

El objetivo principal de esta Tesis consiste en describir las características clínicas y epidemiológicas de la enfermedad, así como sus causas y las características mineralógicas del terreno en Gambo, una zona rural de la provincia de West Arsi (Etiopía).

Para ello, se llevó a cabo una primera fase en la que se describió la consulta espontánea de la población local en el Hospital General Rural de Gambo por este motivo durante un año, entre junio de 2012 y junio de 2013. Posteriormente, se procedió a realizar una búsqueda activa de casos sobre los poblados más cercanos al hospital, ofreciendo tratamiento y seguimiento posterior según su evolución clínica y adherencia. Esta segunda fase se llevó a cabo durante los meses de agosto a diciembre de 2013. Fueron 24 pacientes los que consultaron en el primer período, mientras que en el segundo se encontraron 106 nuevos casos, corroborando la idea de que el estigma, la ignorancia o la distancia a los centros de referencia constituyen el principal problema que sufren estos enfermos. Algunos de los pacientes se encontraban descalzos en el momento del diagnóstico y la mayoría de ellos usaban calzado de mala calidad. Las heridas cutáneas favorecen la sobreinfección bacteriana, que puede conducir a la aparición de episodios agudos de adenolinfangitis, causando fiebre, postración y progresión del linfedema.

Por otro lado, se recogieron también 31 muestras de suelo cerca de las casas, ríos y caminos más transitados por los pacientes, así como cuatro biopsias cutáneas y 8 muestras de agua, para su posterior análisis en el Instituto Geológico y Minero de España. El elemento mayoritario encontrado fueron las arcillas (74,8%) y, en concreto, la illita y el caolín. Se encontraron concentraciones notables de vanadio,

cobalto, cromo y torio en las muestras de suelos, aunque con grandes variaciones entre las muestras analizadas y en proporciones muy diferentes a las descritas en otras áreas con alta prevalencia de podoconiosis, lo que sugiere que no deben influir en su patogenia. En las biopsias de piel se observó hiperplasia epidérmica, expansión fibrosa de la dermis con un infiltrado linfoplasmocitario perivascular, así como proliferación y ectasia linfática, y fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas.

Al mismo tiempo, se ha desarrollado un proyecto con el fin de mejorar la información sobre la enfermedad, proporcionar tratamiento y seguimiento a estos pacientes. Este proyecto comienza ahora, tres años después de su idea original.

## SUMMARY

Podoconiosis, *mossy foot* or endemic non-filarial elephantiasis, is a geochemical disease that causes lower limb lymphedema; it is directly related to walking barefoot over soils of volcanic origin which are rich in silica, in areas with a high pluviometric annual index. Due to repeated trauma, these mineral microparticles enter the skin causing a chronic non-reversible lymphedema. Podoconiosis is among the considered neglected tropical diseases and it has a specific geographical distribution, affecting around 5% of the population in areas where it is endemic. It is a debilitating and disfiguring disease, which frequently leads to social marginalization. Podoconiosis is totally preventable and, once a diagnosis is established, it may improve with simple therapeutic measures.

The aim of this study was to evaluate epidemiological, geographical, sociological and clinical factors involved in the development of the disease. A field study was carried out since the 5<sup>th</sup> of July 2013 until the 20<sup>th</sup> of December 2013 in the rural highlands of West Arsi, in the Oromia region, with settlement in Gambo General Rural Hospital, Ethiopia. In this area, most of the population live under the poverty threshold and they earn their living by subsistence farming, which remains as one of the main risk factors for developing podoconiosis.

Thus, three actions were taken: first, patients attending spontaneously to the hospital because of leg swelling, with a clinical diagnosis of podoconiosis, from June 2012 until June 2013, are described. Secondly, an active search for cases was conducted among the closest towns from Gambo Hospital, offering treatment and follow-up according to clinical evolution and treatment adherence. This second phase was performed from August until December 2013.

24 patients attended during the first period, while in the second one there were 106 new cases, supporting the idea that stigma, ignorance or distance from reference health centers, pose the main problems these patients suffer.

On the other hand, 31 soil samples in the Oromia region were taken for their mineralogical characterization by the Spanish Geological and Mineral Institute; four skin biopsies and eight water samples were collected for their subsequent analysis as

well. The majoritary elements found were clays (74,8%), illite and caolin specifically.

Significant concentrations of vanadium, cobalt, crome and thorium were found, but with considerable variations among samples, and in different proportions from what is described in other areas where podoconiosis is prevalent, suggesting that they should not be implicated in its pathogenesis.

Third, skin biopsies from patients were obtained for their hystopathological exam. Skin analysis showed epidermic hyperplasia, fibrous expansion of dermis, with a perivascular lymphoplasmocytic infiltrate, as well as lymphatic proliferation and ectasia, and fibrosis around sudoriparous glands.

At the same time, a project focused in improving the information about the disease, as well as providing treatment and follow-up for the patients, was developed. This project is now being accomplished, three years after its original conception.



*La ciencia del pasado, interrogada sobre el origen y naturaleza de las infecciones tropicales, ó callaba ó daba tímidas e inconsistentes respuestas. Ante tamaña ignorancia, el pobre colono veíase inerme y desamparado. Excusados quedaban, si no plenamente justificados, el abandono y la indiferencia de las autoridades sanitarias.*

*Pero hogaño las cosas no deben pasar así. Dado el nivel científico alcanzado por la medicina actual, esclarecidas, por fortuna, las causas y en buena parte la profilaxis y terapéutica de las endemias tropicales, dicha incuria sanitaria constituye crimen de lesa civilización, y representa además en el orden político internacional error peligrosísimo.*

(...)

*Y entre todas las artes del espíritu, ninguna cala más adentro en el corazón de las razas primitivas que aquella cuyo ideal consiste en mitigar el dolor, evitar el contagio y aplazar la decrepitud y la muerte.*

**Santiago Ramón y Cajal.** Madrid, 1910.

*Prólogo del Informe de la Comisión del Instituto Nacional de Higiene de Alfonso XIII, enviada a las posesiones españolas del Golfo de Guinea para el estudio de La Enfermedad del Sueño y de las condiciones sanitarias de la Colonia, bajo la dirección del **Dr. Gustavo Pittaluga**, Jefe de la Comisión.*



## **INTRODUCCIÓN**

---



## INTRODUCCIÓN

*“No se cansaba de sopesar y estudiar con curiosidad las piedras, cuyos contornos pulidos o rugosos, y cuyos tonos de herrumbre o de moho nos cuentan una historia, testimonian los metales que las formaron, de los fuegos o las aguas que antaño precipitaron su materia y coagularon su forma.”*

Marguerite Yourcenar. Opus nigrum

La podoconiosis (del griego πόδος *-podos*: pie- y κόνεως *-coneos*: polvo, arena) es un tipo de elefantiasis de las extremidades inferiores diferente de la filariasis linfática. También conocida como “elefantiasis endémica no filariásica” y relacionada directamente con el caminar con los pies descalzos, suele ser bilateral y asimétrica y posee una distribución geográfica definida en el África tropical (Sudán, Etiopía, Kenia, Uganda, Tanzania, Ruanda, Burundi, Camerún, Guinea Ecuatorial e islas de Santo Tomé y Príncipe, Bioko y Cabo Verde), norte de la India, Sri Lanka, Indonesia, Centroamérica y Sudamérica (islas Barbados, Méjico, Ecuador y Brasil).

Como muchas enfermedades, tiene un componente de predisposición genética y obedece al paso de micropartículas sólidas del suelo a través de la piel de los pies, partículas que afectan a los vasos linfáticos causando su fibrosis y obstrucción y el agrandamiento de los ganglios linfáticos regionales <sup>(1)</sup>. Se produce así el edema de pies y piernas, cuya consistencia aumenta progresivamente a través de estadios conocidos como: “globo lleno de agua”, “goma de borrar” y “tabla de madera”. Por último, las piernas se vuelven hiperqueratósicas y nodulares y prácticamente en todas las etapas la linfa puede rezumar a través de la piel, facilitando las micosis y los episodios de celulitis y adenolinfangitis.

Esta enfermedad puede progresar de manera continua o evolucionar en forma de episodios agudos recurrentes que al ceder van dejando más secuelas cada vez. Además, es desfigurante y con frecuencia lleva a la marginación social de los que la sufren. Su diagnóstico diferencial debe hacerse con: 1) el linfedema idiopático o primario <sup>(2)</sup>, una entidad rara que puede adoptar tres formas: -congénita, manifestada hacia los dos

años de edad y que suele ser familiar con herencia autosómica dominante (enfermedad de Milroy); -el linfedema *praecox*, de aparición entre los 2 y los 35 años, con predominio en la mujer en proporción de 10 a 1 y limitado a pies y pantorrillas, y -linfedema idiopático tardío; 2) con el linfedema secundario <sup>(3- 5)</sup> debido a la compresión de los vasos linfáticos por adenopatías tumorales (linfoma, carcinoma de próstata, carcinomas ginecológicos o digestivos), cirugías y radioterapia que afectan a los linfáticos, e infecciones (bacterianas, incluida la lepra) y parasitosis (filarias); y 3) con el edema venoso crónico, que suele acompañarse de piel engrosada y oscurecida y múltiples excrecencias, o verrucosis linfostática <sup>(6, 7)</sup>.

## **1 Historia de la podoconiosis**

Aunque en un texto tibetano del siglo IV (*Cuatro Tantras Médicos*, resumen de los conocimientos médico-sanitarios de Asia y Oriente Medio, recopilados en sánscrito en el siglo XII, y que aún siguen vigentes en el Tíbet) <sup>(8)</sup> aparece la referencia a una “enfermedad de las piernas hinchadas”, se asume que el primer texto escrito sobre la podoconiosis se debe al médico y filósofo persa Razes (Muhammad ibn Zakariya Ar-Razi, 854-925). Éste, traductor de los textos hipocráticos al árabe, estableció hacia el año 905 la diferencia entre la “elefantiasis de los griegos” (la lepra lepromatosa) y la “elefantiasis de los árabes” (probablemente la podoconiosis) cuando escribió: “La enfermedad afecta a los pies y porción inferior de las piernas. Una vez iniciada es incurable, pero si se trata en sus fases iniciales con medidas adecuadas, puede curarse o evitarse su progresión” <sup>(9)</sup>.

Debemos esperar hasta el siglo XVIII para encontrar un apunte de esta enfermedad en el libro *Treatise of the diseases most frequent in the West Indies –particularly those in Barbados*, obra del médico militar inglés Richard Towne (J. Clark, Londres, 1726), en el que describía un cuadro de edema progresivo en miembros inferiores y preferentemente unilateral en negros de las islas Barbados. Asimismo, la referencia gráfica de esta elefantiasis aparece en un texto del explorador escocés James Bruce (1730-1794) que, al relatar lo que vio en Gondar (norte de Etiopía),



escribió: “La característica principal de esta enfermedad es la deformidad por debajo de las rodillas hasta los tobillos; la pierna está enormemente hinchada, con el mismo perímetro de arriba a abajo y fruncida en pliegues circulares... entre estos círculos rezuma continuamente linfa. Parecería que con el color negro de la piel, su grosor, la pérdida de la forma normal de la pierna y los groseros tubérculos y excrecencias, semejantes a las del elefante, diera el nombre a la enfermedad” <sup>(10)</sup>. Asimismo, comprobó que ni la cicuta, el mercurio ni la brea mejoraban la evolución de esta enfermedad.

Por cierto, Bruce creyó haber sido el primer europeo que viera en Gondar las fuentes del Nilo -el Nilo Azul-, cuando desde más de un siglo antes ya había misiones de jesuitas en Abisinia y el español Pedro Páez (Olmeda de las Fuentes, Madrid, 1564-1622, Gorgora, Etiopía), llegado allí en 1613, había descubierto en 1618 su nacimiento en el lago Tana (Gondar, Etiopía). Así consta en su *Historia Geral da Etiopia a Alta ou Abassia do Preste Ioam* (Coimbra, 1660) y referida por el también jesuita Baltasar Téllez en *The Travels of the Jesuits in Ethiopia, 1710*; (LaVergue: Kessinger, 2010; p. 162). Del libro de Páez hay una traducción al inglés (Páez P. *The History of Ethiopia*. The Hakhluyt Society. London, 2011).

Asimismo, conviene recordar que por aquella época, el cremonés Gaspare Aselli (1581-1626) describió por primera vez los linfáticos o “vasos lácteos” en su obra *De lactivus sive lacteis venis*, editada en Milán en 1627.

La patogenia de esta elefantiasis fue desvelada a lo largo de los siglos XVIII y XIX merced a los trabajos de James Hendy quien, al disecar la pierna amputada de una mujer de 25 años, observó “el gran grosor y tortuosidad de los vasos linfáticos de los dedos, del dorso de los pies y de las piernas” <sup>(11)</sup>. A su vez, el médico francés Michel Alard publicó en 1806 una monografía en la que describió la morfología de la podoconiosis en los países tropicales, observó que era endémica en territorios volcánicos y afirmó: “esta elefantiasis no se debe a una inflamación de las glándulas, sino de los vasos linfáticos” <sup>(12)</sup>.

Dominique-Jean Larrey, cirujano de los ejércitos de Napoleón en Egipto, en 1812 observó las diferencias entre la elefantiasis egipcia y la lepra, así como con la de las Barbados <sup>(13)</sup>. A su vez, Pierre Duchassaing <sup>(14)</sup> describió la distribución

geográfica de esta elefantiasis en Centroamérica, su comienzo en edades tempranas (7-8 años) y la frecuente aparición de abscesos profundos en los miembros afectados (lo que nos plantea la posibilidad de que asistiera a una sobreinfección bacteriana), y algunos años después, el médico francés Jean Rochard observó algunos casos de probable podoconiosis en las islas Canarias <sup>(15)</sup>. En 1875 Otto Wucherer y Joseph Bancroft demostraron que un nematodo, la *Wuchereria bancrofti*, era el agente etiológico de la elefantiasis filariásica <sup>(16)</sup>, entidad distinta de la podoconiosis y con la que plantea diagnóstico diferencial. En algunos casos endémicos observados en las islas Barbados, India y países del sudeste asiático, ese parásito podía justificar una etiología mixta de esta enfermedad.

En aquellos momentos de cierta confusión, el acreditado Raymond Sabouraud, ante algunos casos de elefantiasis en Europa en los que encontró estreptococos en las escarificaciones de la piel, apuntó la posible etiología bacteriana de la misma <sup>(17)</sup>. Sin embargo, Tilbury Fox observó en 1878 que la elefantiasis podía existir sin filaria <sup>(18)</sup> y, del mismo modo, Legrain, en Argelia, comunicó que en muchos casos de elefantiasis diagnosticados por los dermatólogos, no se vieron filarias <sup>(19)</sup>. Sin embargo, es probable que la controversia se hubiera aclarado antes si el médico guatemalteco Rodolfo Robles (1878-1939) no hubiera esperado a 1938 a publicar sus trabajos realizados en 1924 <sup>(20)</sup>.

Robles, formado en París y de vuelta a su país, estudió a conciencia una forma de elefantiasis atribuida a la lepra en pacientes ingresados en la leprosería de la capital de Guatemala. Examinó a más de 150 pacientes y visitó sus lugares de procedencia, en las tierras altas de ese país volcánico. Observó que la enfermedad afectaba a personas que “viven por encima de 1500 metros de altitud pero no por debajo de 1000 metros; aparece entre los 5 y los 20 años de edad en forma de una mancha roja en el tercio inferior de la pierna con calor local y edema del pie, y que se sigue de la aparición de ganglios linfáticos hipertróficos en la extremidad afectada; ese episodio dura unos diez días, las lesiones no supuran y el edema, que no supera la rodilla, no llega a desaparecer; la otra pierna se afecta más tardíamente y sigue una evolución similar, aunque con menor grado de afectación y el edema progresa; con el tiempo, los dedos también se hinchan, así como las plantas de los pies, de forma que la piel se vuelve gruesa, arrugada y dura, y la punta de los dedos

no toca el suelo”<sup>(20)</sup>. Describió que esta enfermedad sólo se producía en personas que caminaban descalzas, que no se afectaba su estado general y que “la piel, que parece cubierta de musgo y el edema firme” empeoraban progresivamente. La bacteriología y las pruebas para demostrar filarias fueron siempre negativas, lo que descartaba la etiología infecciosa y parasitaria, y denominó a esta enfermedad “pseudolepra” (“punudos” en la terminología indígena).

En función de todo lo anterior, Emile Brumpt (1877-1951) en 1947 clasificó las elefantiasis en<sup>(21)</sup>: a) elefantiasis *nostras* (observada rara vez en países templados de Europa y probablemente debida a linfangitis estreptocócicas de repetición); b) pseudolepra o elefantiasis de las piernas “de Robles” (podoconiosis); c) elefantiasis de la lepra, y d) elefantiasis filariásica no bacteriana (o elefantiasis tropical, causada por *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi* y *B. timori*). No obstante, esta clasificación no incluye el linfedema escrotal de la oncocercosis (causada por el gusano nematodo *Onchocerca volvulus*, transmitida por varias especies de moscas y con lesiones potencialmente graves en piel y ojos, constituyendo una causa importante de ceguera), ni la elefantiasis genital del linfogranuloma venéreo (enfermedad de Nicolás-Favre), causada por especies de *Chlamydia trachomatis*.

Sin duda, el diagnóstico diferencial de la podoconiosis que se ha planteado con mayor frecuencia ha sido con la elefantiasis filariásica (endémica en 73 países desde Centro y Sudamérica hasta Asia y la región del Pacífico, pasando por 37 países africanos)<sup>(22)</sup>. En esas áreas endémicas casi un 10% de las mujeres presentan elefantiasis de miembros inferiores y el 50% de los varones sufren síntomas genitales de la misma etiología<sup>(23)</sup>.

Además, las experiencias obtenidas tras la Segunda Guerra Mundial, con numerosos occidentales expuestos a infecciones repetidas por filarias en el sudeste de Asia e islas del Pacífico como Samoa y Nueva Caledonia, plantearon algunas cuestiones aplicables también a la podoconiosis: 1) ¿por qué mecanismo el parásito (o los agentes físico-químicos causantes de la podoconiosis) obstruye o bloquea los vasos linfáticos?; 2) ¿dónde se produce la obstrucción?; 3) en regiones anatómicas con abundantes vasos linfáticos, ¿por qué, tras la obstrucción, no se desarrollan colaterales compensadoras?; 4) ¿por qué razón la obstrucción linfática

no progresa por encima de la rodilla o de la región inguinal?; y 5) ¿por qué el edema puede ser unilateral o asimétrico? Preguntas para las que, en la podoconiosis, aún hoy sólo tenemos una respuesta parcial.

## **2 La podoconiosis en el siglo XX**

La existencia de una elefantiasis endémica no filariásica de las extremidades inferiores en el Este de África fue precisada por Lowenthal <sup>(24)</sup> en Uganda en 1934, Macfie <sup>(25)</sup> en Etiopía (1936), Clark <sup>(26)</sup> en Kenia (1948) y por Jordan <sup>(1-4)</sup> en Tanzania en 1956.

A diferencia de la filariasis, que puede adoptar distintas formas clínicas, las estadísticas médicas sobre la podoconiosis, con sintomatología similar en todos los lugares, varían en función del área geográfica y su nivel sociosanitario. En muchos casos, por englobar la misma entidad con denominaciones diferentes, su prevalencia es desconocida o subestimada. Así, por ejemplo, Cohen unificó en 1960 con el término “linfedema idiopático” el *pie musgoso* de Etiopía y la *verruccosis linfática* de Kenia y Uganda (5). Y, asimismo, aunque la lepra puede causar elefantiasis de miembros inferiores por el bloqueo linfático secundario a la hiperplasia ganglionar, como observaron Carayon *et al* <sup>(29)</sup>, en los pacientes con podoconiosis no se detectó el *Mycobacterium leprae*.

Oomen <sup>(30)</sup>, en 1969 estudió 6.770 casos de podoconiosis en varias áreas de Etiopía, describiendo una prevalencia entre 2,7% y 8,8%, cifra notable que concuerda con el 5,46% observada por Destas *et al* en Wolaita, en el sur, <sup>(31)</sup> y el 3,33-5,42 % por Crivelli en Kenia <sup>(32)</sup>. Según Cohen, “no parece que haya una susceptibilidad racial especial. La enfermedad ocurre en los Ahmaras, quienes fueron los últimos invasores de Absinia con éxito; en los Gallas, que son ‘negroides’ y que reclaman una ascendencia de India, posiblemente con justificación, dado que se cree que algunas de las tribus del sur de la India pudieron huir a través del Océano Índico hacia África, para escapar de los invasores arios de su país. También ocurre en los Kikuyu, que se desplazaron al sur hacia Kenia, desde las tierras altas abisinias hace alrededor de ocho siglos, y también en los habitantes ‘negroides’ de Uganda” <sup>(28)</sup>.

Entre 1972 y 1976, Ernest W. Price describió la clínica y evolución de la podocóniosis en Etiopía y con Heather observó la presencia de partículas de sílice y metales en ganglios linfáticos de las extremidades afectadas <sup>(33-35)</sup>. Además, comprobó su relación con los trabajos agrícolas con pies descalzos en terrenos de arcillas rojizas derivadas de rocas volcánicas ricas en silicatos de magnesio y hierro y proporcionalmente escasas en sílice, de manera similar a lo observado en áreas volcánicas de Kenia, Ruanda, Burundi <sup>(36)</sup>, noroeste de Tanzania <sup>(37)</sup>, Guinea Ecuatorial <sup>(38)</sup> y Camerún <sup>(39)</sup>. Se confirmaba así en África lo que Robles había observado en Guatemala: que esta enfermedad disminuye hasta desaparecer a medida que las personas se alejan de las áreas de tierras arcillosas volcánicas y regadas con lluvias abundantes. Además, Price descartó la presencia de bacilos de Hansen y no encontró microfilarias en la sangre y orina de aquellos pacientes con linfedema de pies y piernas; y la espectrometría con rayos X demostró que las micropartículas halladas en los ganglios linfáticos eran del mismo tamaño que las observadas en los fértiles terrenos arcillosos cultivados por los pacientes.

En suma, la podocóniosis es una enfermedad geoquímica que se produce en personas expuestas con los pies descalzos a suelos arcillosos derivados de la erosión de rocas volcánicas.

### **3 Geografía y geología de la podocóniosis**

Como se ha indicado en páginas previas, esta enfermedad se encuentra en áreas con tierras fértiles arcillosas de origen volcánico y lluviosas (índice pluviométrico superior a 1.000 mm al año) situadas por encima de los mil metros sobre el nivel del mar localizadas en el África tropical, América Central y Noroeste de la India. Los países con mayor prevalencia son: Sudán, Etiopía, Uganda, Tanzania, Kenia, Ruanda, Burundi, Guinea Ecuatorial, Camerún y las islas de Cabo Verde, Bioko, Santo Tomé y Príncipe (Fig. 1).

Y, circunscribiéndonos a Gambo, en la Oromía, el área del centro y sur de Etiopía donde durante seis meses hicimos el trabajo de campo, debemos recordar algunos aspectos históricos, geográficos y políticos esenciales de ese país.



Figura 1. La podocniosis en el mundo. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. Deribe et al.

#### 4 **Etiopía. Apunte histórico**

Durante el primer milenio antes de Jesucristo, pueblos semíticos procedentes del suroeste de Arabia debieron cruzar el Mar Rojo para establecerse a lo largo de la costa del cuerno de África <sup>(40-42)</sup>. Esos pueblos tuvieron un gran desarrollo económico y cultural creando el reino de Aksum, gobernado por reyes que se atribuían la descendencia directa del rey Salomón y la reina de Saba. Durante el siglo II d.C, por influencia de los cristianos coptos del sur de Egipto, Aksum se convirtió al cristianismo. Tras siglos de monarquías absolutistas, en 1527 la región fue invadida y ocupada fugazmente por los musulmanes, que fueron expulsados en 1543. Los misioneros jesuitas llegaron en 1557 e intentaron convertir a los reyes/emperadores etíopes del cristianismo copto al católico, lo que generó una prolongada inestabilidad hasta que en 1632 llegó al poder el emperador Fasiladas, cuya dinastía permitió un largo período de esplendor militar, económico y artístico. No obstante, con la muerte de su sucesor Iyasus en 1706, Etiopía pasó por otra larga época de decadencia en la que su territorio se dividió en regiones que, no obstante, mantuvieron el nexo de la religión. Precisamente, gracias al apoyo de las jerarquías religiosas, Kassa Hailu, un hábil bandolero del noroeste, venció y aglutinó a los señores feudales locales y en 1855 se coronó emperador con el nombre de Teodoro II. Éste centralizó el poder, modernizó el país e intentó

liberarlo de la influencia inglesa hasta que fue derrocado por un cuerpo expedicionario enviado por Inglaterra en 1868, siendo sucedido por Dejad Kassai. La apertura del canal de Suez en 1869 aumentó el valor estratégico de Etiopía y tanto el Reino Unido como Francia y, especialmente, Italia mostraron sus intereses y tomaron posiciones en la región.

Entre 1875 y 1881 Etiopía se vio invadida desde el norte y el oeste por tribus islámicas de Egipto y Sudán, hasta que en 1889 el rey Menelik II pudo derrotarlas, y seguidamente unificó el país, restableció las fronteras, estableció la capital en Addis Abeba y negoció un acuerdo con Italia. El “acuerdo de Ucciali” fue redactado en amhárico e italiano, idioma en el que Italia introdujo torticeramente que Etiopía pasaba a ser su colonia. Cuando el rey etíope descubrió el engaño, denunció el tratado ante Francia e Inglaterra. Italia declaró la guerra a Etiopía y envió su ejército a la región, pero fue derrotado en la batalla de Adwa y tuvo que reconocer su independencia. Tras ello, Menelik II conquistó extensas áreas aledañas y amplió el territorio del país hasta su muerte en 1917. Fue sucedido por su hija Zaudiatu con la tutela de su primo Safari Makonnen quien, a la muerte de Zaudiatu en 1930, se convirtió en emperador y 225º sucesor de Salomón con el nombre de Haile Selassie I.

Haile Selassie promulgó en 1931 la primera Constitución escrita de su país y logró que en 1932 Etiopía se convirtiera en miembro de la Liga de Naciones, denominada Organización de las Naciones Unidas en 1945.

Mussolini (1883-1945) llegó al poder en 1922 y en 1935 Italia invadió Etiopía llegando a ocupar Addis Abeba. Haile Selassie se vio obligado a partir para Inglaterra, si bien fue repuesto por el ejército inglés en 1941. Aunque reformó la Constitución, introdujo cierta democracia en el país y ganó notable prestigio personal en la esfera internacional (visitó España en 1963), descuidó asuntos fundamentales como el subdesarrollo y la pobreza secundaria a la sequía que asoló Etiopía desde 1971 hasta 1975. Sólo en la provincia de Wallo hubo 200.000 muertos por hambre entre 1973 y 1974.

Haile Selassie fue derrocado en 1974 por el Ejército que, con el apoyo de la URSS, tomó el poder mediante el “Consejo Administrativo Militar Provisional”. Bajo el

mando del coronel Mengistu Haile Mariam, el régimen comunista abolió la monarquía en 1975, proclamó la república comunista y nacionalizó la tierra y la agricultura. Pero la desorganización de la Administración y las hambrunas llevaron al descontento y las huelgas, y a que regiones como la Oromía, Eritrea, Tigray, Somalia y Afar reclamaran su independencia mediante guerrillas. El Consejo Militar respondió con una cruenta represión y se calcula que sólo durante 1977 y 1978, bienio conocido como del *terror rojo*, unas cien mil personas “desaparecieron” o fueron asesinadas.

La grave sequía de los años 1984-86 llevó a la sublevación popular y la descomposición del régimen político. En 1991, coincidiendo con la fragmentación de la URSS, Mengitsu fue derrocado por el llamado “Frente Revolucionario Democrático del Pueblo Etíope” (FRDPE) gracias al apoyo de EE.UU. Pero ello facilitó simultáneamente que movimientos separatistas como el “Frente de Liberación del Pueblo Eritreo” llegaran a tener éxito y que, con el respaldo de EE.UU., Eritrea proclamara unilateralmente su independencia en 1993, con lo que cerraba la salida al mar de Etiopía. Ello originó una cruenta guerra entre 1998 y 2000, un prolongado litigio por las fronteras y el apoyo a grupos guerrilleros por ambas partes que duró hasta 2011. (En 2005, una Comisión Internacional declaró en La Haya que Eritrea había violado la Ley Internacional cuando atacó a Etiopía en 1998).

En 1994 fue promulgada una nueva Constitución que dividió Etiopía en regiones basadas en las etnias de sus poblaciones y en 1995 el FRDPE nombraba Primer Ministro a Meles Zenawi, que se mantendría en el poder hasta su muerte por causa natural en 2012. Desde entonces el Jefe del Gobierno es Hailemariam Desalegn y en la actualidad, tras las elecciones de mayo de 2015 sigue en el poder el FRDPE.

Etiopía mantiene desde 2003 estrechas relaciones comerciales con China, país que ha realizado grandes inversiones en infraestructuras (pantanos en los ríos Tekezé y Omo; tren ligero elevado en Addis Abeba; construcción de una carretera nueva desde Addis Abeba a Djibuti (864 Km) y reconstrucción de los 1.300 Km del ferrocarril con el mismo recorrido pasando por Dire Dawa en el Nor-noreste; construcción del gran hospital Tirunesh Dibaba-Beijing en el sur de la capital - funcionando desde 2011-; y prospecciones petrolíferas y gasísticas en la región de



Gambella -a 340 Km al oeste de Addis Abeba- y en el Ogadén, en el sureste, etcétera). El porqué de esta relación es conseguir influencia geoestratégica y que el costo de la producción en China ha subido notablemente por encarecimiento de la mano de obra en los últimos 20 años, de ahí que le resulte favorable abrir plantas industriales en países menos desarrollados. Además, China busca “deslocalizar” varios millones de operarios de sus fábricas a lugares como la propia Etiopía, Kenia, Lesotho, Ruanda, Tanzania y Senegal, que absorban esa mano de obra. Los trabajadores etíopes (con un salario medio de 50 dólares al mes) son mucho más “productivos” que los chinos.

Etiopía posee una gran base ganadera (se estima en más de 20 millones la cabaña de bovinos, ovejas y cabras) sobre la que se basa su industria del cuero. Sólo como ejemplo, el costo de producción de los zapatos en Etiopía es la tercera parte que en China, algo que tiene muy presente la empresa *Dongguan Huajian Shoes Industries Co*, fabricante de calzado e implantada a las afueras de Addis Abeba desde 2012. Esa empresa tiene previsto crecer hasta producir dos millones de pares de zapatos anuales en 2020.

La inversión extranjera en el país ha crecido 250% en los últimos diez años, lo que representó unos 950 millones de dólares en 2014, una inversión que en su gran mayoría llegó precisamente de China y que está dirigida a infraestructuras, manufacturas de cuero, fábricas de cemento y prospecciones de gas y petróleo.

Pero, por si no tuviera suficiente con las sequías prolongadas de 1984-85, 1999-2000 y 2003, desde 2005 Etiopía debe hacer frente a las reivindicaciones de Somalia sobre territorios del sur viéndose obligada a mantener allí parte de su ejército y llegando incluso, en 2006, a invadir transitoriamente ese país como respuesta a la ocupación de algunas ciudades del sureste por soldados somalíes. Además, desde 2009 se enfrenta a los ataques armados del “Frente Nacional de Liberación del Ogadén”, islamista. Pero, a pesar de esos conflictos bélicos, alberga 740.000 refugiados y solicitantes de asilo procedentes de Sudán del Norte, Sudán del Sur, Somalia y Eritrea, según cifras recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*FAO. Giews Country Briefs. Ethiopia; mars; 2016*).

Por otra parte, desde hace años mantiene un litigio con Egipto por la construcción de un gran pantano en el Nilo Azul, la “Gran Presa del Renacimiento Etíope”, que está previsto entre en pleno funcionamiento en 2020 y reduzca significativamente el caudal del río más largo de la Tierra.

Y, finalmente, además de la grave sequía de 2015, preludio de otra hambruna en 2016, Etiopía se enfrenta a dos graves problemas interiores: a) el de la sublevación armada de la etnia oromo en 2015 por el proyecto del Gobierno de ampliar los límites del área metropolitana de Addis Abeba (lo que implica el desplazamiento de gran número de agricultores de esa etnia); y b) la corrupción pública y privada <sup>(43)</sup>. Así, Etiopía ocupa hoy el lugar 110 en la clasificación del “Índice de Percepción de la Corrupción”, establecido por Transparencia Internacional <sup>1</sup>, índice en el que los países con los que tiene frontera ocupan los siguientes lugares: 107) Djibuti; 139) Kenia; 166) Eritrea; 171) Sudán del Sur; 173) Sudán y 174) Somalia.

## 5 Geografía física y regiones de Etiopía

La hoy denominada República Federal Democrática de Etiopía está situada en el “cuerno de África” entre los 14° 47' y 3° 18' de latitud Norte y los 33° y 47° 53' de longitud Este. Limita al norte con Eritrea (que formó parte de Etiopía hasta 1993) y Djibuti, al norte y este con Somalia, al oeste con Sudán, y al sur con



Figura 2. Etiopía en el mapa de África.

<sup>1</sup> Transparency International (TI) es una organización internacional no gubernamental, no partidista y sin ánimo de lucro, dedicada a combatir la corrupción a nivel nacional e internacional. Fundada en 1993, ha sido reconocida por haber llevado la lucha anticorrupción a la Agenda Global de la ONU. Su Secretaría Internacional trabaja con el sector privado y organizaciones internacionales como la OCDE para fortalecer el marco político y legal de los negocios internacionales. Esa Secretaría dirige la agenda internacional de la organización y más de 80 Capítulos Nacionales lo hacen en cada país <sup>(43)</sup>. Estas actividades incluyen la elaboración de índices mundialmente respetados como el “Índice de Percepción de la Corrupción” (IPC) y el “Índice de Fuentes de Soborno”, así como estudios periódicos sobre países que, aunque no deben ser asumidos como dogmas, sí son orientadores <sup>(44)</sup>. La sede central de TI se encuentra en Alemania (Berlín) y la sede española en la Fundación Ortega y Gasset-Marañón; Madrid.

Kenia y Somalia, (Figs. 2 y 3). Etiopía tiene una superficie de 1.100.000 Km<sup>2</sup>, algo más del doble que España, y en ella se distinguen tres grandes regiones (Fig. 4): a) el Norte, dominado por el Macizo Etíope que ocupa la mitad del país y llega a los 4.620 metros de altitud en el monte Ras Dahan en las montañas Simien (Fig.4); también en el norte se halla la Depresión de Afar que se prolonga hasta el desierto de Danakil, a 100 metros bajo el nivel del mar y con varios volcanes activos; en el noroeste se encuentra la región de Amhara, con el lago Tana (con 3.000 Km<sup>2</sup> de superficie a 1800 m de altitud, alimentado por los ríos Reb, Magech, Gumara, Abay y Kilti) donde nace el Nilo Azul; b) el Centro, con la depresión del Gran Valle del Rift, en la que se encuentra el río Awash y los lagos Abjata (a 1.285 m de altitud y 1.162 Km<sup>2</sup> de superficie), Shalla, Langano, Chamo, Zway y Koka; y asimismo, en el Centro-este se extiende la planicie de Dancalia, que en su parte más baja llega a los 116 m bajo el nivel del mar, y c) al Sureste, la región del Ogadén con altiplanicies casi o del todo desérticas.

El Macizo Etíope, o “techo de África”, es un extenso conjunto de montañas volcánicas de más de 1.500 metros sobre el nivel del mar con cumbres que alcanzan los 4.900 metros y que se extiende por Etiopía, Eritrea y el norte de Somalia. Entre esas altas montañas se encuentran mesetas, planicies, valles y cañones con desniveles superiores a los 1500 metros. Este Macizo se divide en el submacizo de Abisinia con las montañas Simien y el lago Tana al norte, y el submacizo Harar, al sudeste, separados por la fosa tectónica del Gran Valle del Rift.



Figura 3. Geografía física de Etiopía

Los picos más altos del submacizo Harar, el Tullu Demtu y el Batu que superan los 4.000 metros, están en la región de Oromía. Se calcula que el macizo Etíope comenzó a elevarse hace 75 millones de años, cuando el magma procedente del manto terrestre levantó un gran domo en el cratón o escudo africano (gran masa continental rígida desde su origen geológico que no ha sufrido deformaciones), que fue dividido por el Gran Valle del Rift.



Figura 4. Montañas Simien en la región de Amhara con el pico Rash Dashen (4620 m)

En función de la altitud, en este macizo se distinguen tres regiones ecológicas: la ‘selva montana’ (con alturas de 1.100 a 1.800 metros); la ‘pradera montana’ o monte alto, en la que se encuentra la Oromía (con una altitud de 1.800 a 3.000m sobre el nivel del mar); y el ‘páramo montano’, a más de 3000m de altitud (Fig. 5).

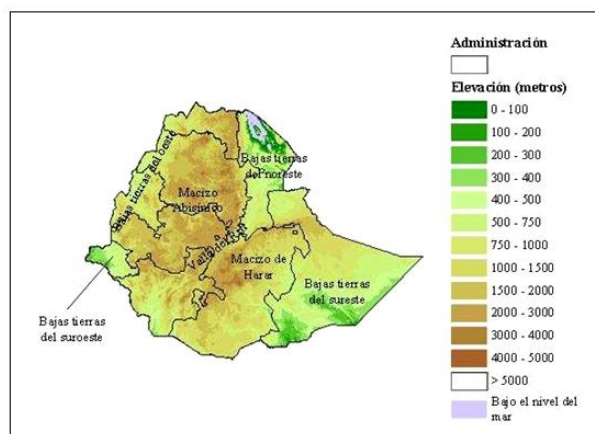


Figura 5. Mapa topográfico de Etiopía

Etiopía tiene una compleja historia tectónica con 58 volcanes censados, de los que ocho entraron en erupción en el siglo XX y tres desde 2000 hasta hoy: Dabbau (en 2005), Dalaffilla (2008), Manda-Harare (2009) y Erta Ale, en el noreste, en enero de 2012 y aún

humeante y con lava incandescente visible en algunos puntos (Fig. 6). Al sur de Etiopía, las montañas Virunga son una cadena de volcanes a lo largo del límite norte de Ruanda, la República Democrática de El Congo y Uganda. Esta cadena es una rama de la falla Albertina, a su vez parte del Gran Valle del Rift.



Figura 6. Cráteres humeantes y en erupción del volcán Erta Ale.

Está constituida por ocho volcanes mayores entre los que el Myiragongo (3.470 m) y el Nyamuragira (3.063 m), en El Congo, tuvieron su última erupción en 2002. Finalmente, en Kenia, el macizo del Kilimanjaro, la mole más alta de África, se eleva sobre una llanura a 1.000 m sobre el nivel del mar, con 60 Km de largo en dirección noroeste-sudeste y unos 40 Km de ancho. Se encuentra a unos 300 Km al sur del ecuador, en la frontera norte de Tanzania con Kenia y es uno de los volcanes durmientes más elevados. Se compone de tres volcanes apagados: Kibo (5.892 m), Mawenzi (5.149 m) y Shira (3.962 m).

El Gran Valle del Rift es una fractura geológica de 4.800 Km de longitud en dirección norte-sur, (Fig. 7 y 8). Aunque se suele hacer referencia sólo a su porción africana, desde Djibuti a Mozambique, tanto el mar Rojo como el valle del río Jordán también forman parte de él. Atraviesa la placa tectónica africana, formada por la placa de Nubia y la de Somalia, divergentes entre sí. Bajo este tipo de estructuras geológicas existe un magma formado por la fusión parcial del manto superior por lo que están asociadas al volcanismo.

Se calcula que el extremo sur y más ancho de ese gran valle empezó a formarse en el sureste de África hace unos 30 millones de años y sigue creciendo tanto en anchura como en longitud, por lo que se sospecha que con el tiempo se convertirá en una cuenca oceánica (de hecho, ya lo es en la zona del mar Rojo en su comunicación con el océano Índico). Los frecuentes temblores de tierra contribuyen a este crecimiento y, si sigue a ese ritmo, se ha calculado que el fondo del valle quedará inundado por el mar dentro de unos 10 millones de años. Con ello, África se habrá desgajado en dos continentes distintos.





Figura 7. Mapa del relieve de Etiopía y localización del Gran Valle del Rift. Fuente: NASA. Extensión de Mercator: 31/49.7/1.5/17

A la altura de África Central, el Gran Valle del Rift se divide en dos valles diferentes (Este y Oeste) que vuelven a unirse al sur, en Tanzania. El subvalle del este acoge grandes extensiones de sabana con grandes manadas de mamíferos, mientras que en el Oeste predomina la selva con su fauna propia. En el sur de este gran valle, en la frontera entre Kenia y Tanzania, se encuentran,

por un lado, el volcán Kilimanjaro, con 5.900 metros, la mayor altura de África y, por otro, algunos de los más grandes lagos de África: el Victoria, el Turkana, el Tanganika y el Malawi.

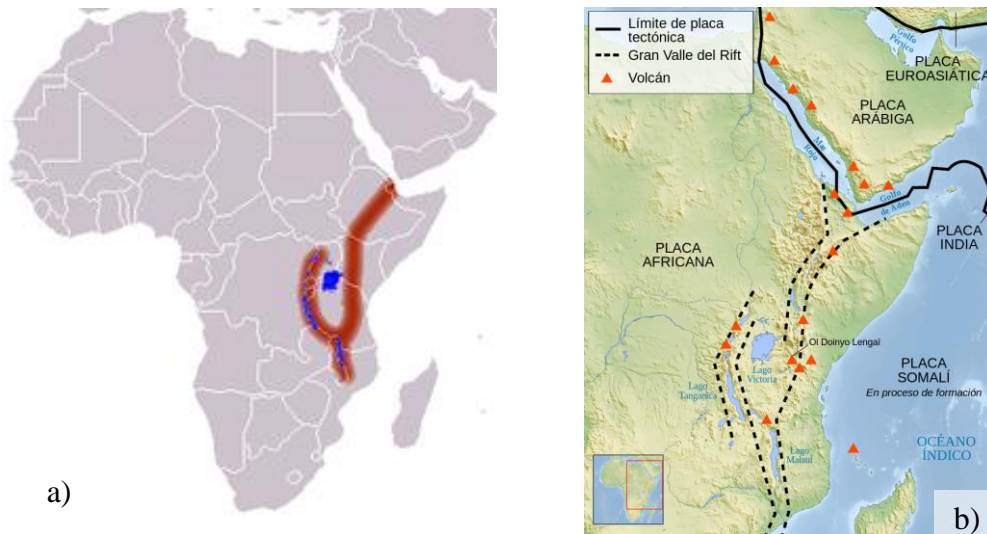


Figura 8. a) Localización del Gran Valle del Rift y b) esquema estructural simplificado del Rift africano-oriental. Tomado de En rouge [GFDL <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>]

El clima de Etiopía depende de la altitud. Así, la zona tropical, por debajo de los 1.800 metros sobre el nivel del mar, recibe menos de 510 mm de agua al año y tiene una temperatura media de unos 27° C. La zona subtropical, que incluye el altiplano o llanura alta, entre 1.800 y 2.400 metros, posee un índice pluviométrico de 600 a 1500 mm y una temperatura media de 20-22° C. Por encima de los 2.400

metros se encuentra un área templada con un índice pluviométrico de 1.300 a 1.800 mm/año y temperatura media de 15° C. Excepto en las tierras desérticas del norte y el Ogadén en el sureste, la época de lluvias dura desde junio hasta octubre. Etiopía carece de costa y su comercio por mar se hace a través del puerto de Djibuti, en la entrada al mar Rojo.

## 6 Geografía Política de Etiopía

Con una población aproximada de 91 millones de habitantes en el censo de 2014, Etiopía es, después de Nigeria, el segundo país más poblado de África. La población rural representa el 84% del total. Su capital es Addis Abeba con unos 4,5 millones de habitantes en 2012. La mortalidad infantil es de 80 por mil nacidos vivos y la esperanza de vida de las mujeres es de 61,5 años y 57 la de los varones, aunque las cifras oficiales con respecto a la población deben tomarse con cautela. Sólo un 20% de la población tiene acceso a la electricidad y se calcula que entre 700.000 y un millón de personas (1,25% de la

población) están infectadas por el VIH. Gasta en educación alrededor del 5% de su producto interior bruto y son analfabetos el 47 % de los varones y el 60% de las

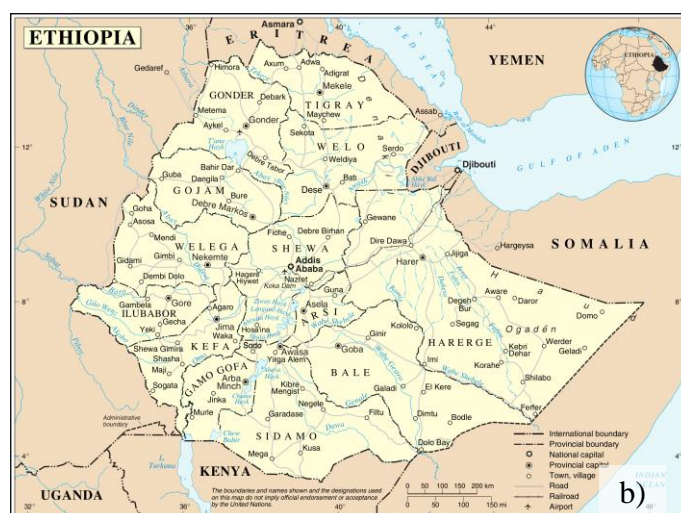


Figura 9. a) Geografía política y b) regiones de Etiopía.

mujeres. El idioma oficial es el amhárico, si bien existen alrededor de 68 lenguas diferentes, entre las que destacan el *oromigna*, el *tigrigna* y el *wolaitigna*, que se hablan en áreas extensas del país. En cuanto a la religión, en 2009 el 43,5% de la población era cristiana ortodoxa, un 33,9% musulmana y un 18,6% protestante <sup>(45-47)</sup>.

El producto interior bruto de Etiopía en 2014 fue 46.800 millones de dólares americanos, año en que su *renta per capita* fue de unos 550 dólares y en el que ocupó el puesto número 15 por abajo entre todos los países del mundo en el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas <sup>(48, 49)</sup>.

La agricultura (sobre todo café y cereales como maíz, sorgo y teff) representa el 50% de su PIB. Además, posee reservas importantes de gas natural, hierro, oro, mármol y tantalita (mineral de óxido de tantalio con hierro y manganeso) que con la columbita (óxido de niobio con hierro y manganeso) es la base del coltán utilizado en microelectrónica y telecomunicaciones.

En este país se encuentran varias etnias: a) "abisinios" (*habashat* o *habesha*), en el norte y centro-oeste, que constituyen la tercera parte de la población; b) *falashas*, judíos etíopes dedicados a la agricultura y la cerámica, que viven en las aldeas de Weleka, al norte del lago Tana, cerca de Gondar; c) *gallas*, establecidos en Diján y en la región centro-meridional; d) *sidamos*, en el sudoeste; e) *somalíes*, en el este y el sudeste; f) *danakiles*, en el norte, en la depresión de tal nombre; y, finalmente, g) en el sur, cerca de Kenia, a orillas del río Omo, se encuentran los *hammer* y, h) en el sudoeste, en el parque nacional de Mago, los *mursi*.

Etiopía está organizada en: a) regiones (*kililoch*), b) distritos, c) comarcas (*woredas*) y d) poblados (*kebeles*). Dos ciudades (Addis Abeba, a 2.300 metros sobre el nivel del mar, localizada en el centro, en la región de la Oromía, y Dire Dawa, en el Este) gozan de *status* especial. Sus principales ciudades son, además de las citadas: Shashemane, Adama y Jima en la Oromía; Gondar y Dese, en Amhara, en el noroeste del país; y Mekele, en Tigray, en el norte (Fig. 9).



## 7 Flora, fauna y agricultura de Etiopía

Etiopía es, tras Kenia, el segundo exportador de flores de África. A lo largo de la carretera que une Addis Abeba con Awassa, en el sur, se pueden ver largas filas de invernaderos donde se producen, además de hortalizas, miles de flores. Así, además de rosas, encontramos flores autóctonas como la cala (*Zantedeschia aethiopica*, o Aro de Etiopía), la rosa del desierto (*Adenium obesum*) y las flores de los arbustos-árboles *Terminalia brownii*, *Calotropis crucera* y *Maerua ovata*.

El emblemático sicomoro -o sicómoro- (*Ficus sycomorus*), pertenece a la familia de las moráceas y al género de las higueras; originario del África central y cultivado en Egipto desde el tercer milenio a.C., está representado actualmente en la bandera de la Oromía. En el oeste de Etiopía se encuentran bosques de árboles autóctonos como el shifara (*Moringa stenopetala*), wanza (*Cordia africana*), woira (*Olea africana*, subespecie de la *Olea europea*) y mirtáceas como eucalipto y dokma (o peral de agua, *Syzygium guineense*, abundante en las montañas Simien), junto con coníferas en áreas húmedas (*Podocarpus falcatus* y *Juniperus procera*), acacias y jacaranda <sup>(50, 51)</sup>. Si en las laderas de las montañas se encuentra una amplia variedad de vegetación afroalpina, en los valles crecen casi todas las formas africanas de vegetación y la zona templada es una inmensa pradera.

Por otra parte, Etiopía es uno de los mayores exportadores de café del mundo, y junto a los granos de *Coffea arabica*, produce cereales como maíz, sorgo, trigo y *teff* (o *tef*), producto básico de la agricultura y alimentación de la población <sup>(52-54)</sup>. Se trata de la semilla de una planta herbácea (*Eragrostis tef*) capaz de crecer en terrenos áridos y laderas secas de las montañas. El grano de este cereal, de color blanco, marrón o anaranjado, es más pequeño que el trigo (apenas alcanza los 2 mm de eje mayor), además de un bajo índice glucémico, posee notables propiedades alimentarias. Así, 100 gramos de *teff* con cascarrilla proporcionan 365 Kcal repartidas entre 2,4 g de grasas, 13 gramos de proteínas vegetales (hidrosolubles como globulinas y una albúmina rica en aminoácidos esenciales como lisina, pero sin gliadina ni glutelina propias del gluten) y 73 g de carbohidratos (de los que ocho gramos son de fibra); y, además aportan 130 mg de calcio; 300 mg de fósforo; 184 mg de magnesio; 269 mg de potasio; 20 mg de sodio; 5,6 mg de hierro; 2,3 mg de cinc; 45 µg de ácido fólico; 2,3 mg de niacina

(ácido nicotínico); 0,5 mg de tiamina; 0,5 mg de vitamina B<sub>6</sub> y 9 U de Vitamina A. Con la harina fermentada de teff mezclada con agua se elaboran unas galletas o tortas finas de sabor agrio (*injera*, o pan etíope), que se tuestan sobre planchas de cerámica y se comen solas o acompañando a purés de legumbres o a pollo cocido en días señalados.

No obstante, Etiopía sufre hambrunas en las frecuentes épocas de sequía, calculándose que más de medio millón de niños sufren habitualmente desnutrición crónica.

En cuanto a la fauna, en los nueve parques nacionales de Etiopía, (Simien, al norte; Yangudi-Rassa, al noreste; Bale, Awash, Abjata-Shalla, en el centro; Gambella, en el oeste; y Chamo y Nechisar, al sur) en función del territorio se encuentran especies de animales salvajes típicas de África (leones, hipopótamos, elefantes, cocodrilos, jirafas, cebras, facóqueros -o jabalí verrugoso-, búfalos, antílopes como el nyala de montaña o gran kudu, leopardos, rinocerontes, chacales de lomo negro y hienas), junto con nyalas de montaña, el lobo etíope (*Canis simiense*) y numerosas especies de monos, algunos autóctonos, como el babuino gelada



Figura 10. Grano y planta de *Eragrostis tef*

(*Theropithecus gelada*) o babuino león, así llamado por su gran melena. Igualmente, en Etiopía habitan especies de aves como avestruces, ibis, grullas, hubaras (o avutardas, *Ardeotis kori*), flamencos rosas, gansos de alas azules, garzas, loros y pájaros como agachadizas, perdices, cercetas y palomas, junto con aves rapaces como águilas, buitres y halcones.

Finalmente, entre una gran variedad de insectos destacan las langostas, la mosca tse-tse (díptero hematófago transmisor del *Trypanosoma brucei*), otros dípteros

flebotomos hematófagos como los vectores de protozoos del género *Leishmania*, mosquitos del género *Anopheles* (vectores de los *Plasmodium* causantes de la malaria) y mosquitos *Aedes* (*aegypti* y *albopictus*) portadores de los flavivirus ARN causantes de la fiebre Chikungunya, el dengue, la fiebre amarilla, la encefalitis del Nilo occidental y el Zika.

## **8 El suelo**

Dado el papel que el suelo juega en la patogenia de la podoconiosis, es necesario recordar algunos de sus aspectos básicos <sup>(55)</sup>.

El suelo es la capa superior y biológicamente activa de la corteza terrestre situada entre el lecho rocoso y la superficie. Tiene enorme importancia por ser el soporte del ciclo del agua y de los elementos y porque en él tienen lugar gran parte de las transformaciones de la energía y de la materia de los ecosistemas.

Se compone de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua. No se consideran “suelo” las superficies cubiertas permanentemente por una capa de agua superficial.

El tiempo es crucial en su formación, ya que los cambios que se producen en los materiales para pasar de roca a suelo suelen necesitar grandes períodos. No todos los suelos de la misma edad son iguales sino que, como organismos activos, van cambiando las características en paralelo con su edad hasta alcanzar en la madurez el equilibrio con el medio. A medida que evoluciona, disminuyen los nutrientes presentes en él, con lo que disminuye su calidad como medio nutritivo para las plantas; es decir, a mayor evolución, menor fertilidad. El proceso de formación del suelo ocurre a lo largo de eones y es el resultado de la combinación de factores como el tipo de material originario, el clima, la vegetación, la meteorización, la mineralización y la acción del hombre.

### **8.1 Color y clasificación de los suelos**

La propiedad visible del color, permite deducir características importantes del suelo <sup>(55)</sup>. Los colores más comunes son:

-*oscuro o negro*: habitualmente debido a la materia orgánica; cuanto más oscura es la capa superficial se le supone mayor contenido en materia orgánica;

-*blanquecino*: por carbonatos, yeso u otras sales solubles; suele deberse al lavado de las arenas, constituidas por cuarzo y en menor medida, feldespatos;

-*pardo y amarillento*: por óxidos de hierro hidratados presentes en arcillas y en materia orgánica;

-*rojo*: suelos con óxidos férricos tipo hematites u oligisto;

-*colores grises y rojos/pardos*: por compuestos férricos y ferrosos;

-*colores grises y verdosos-azulados*: por sales ferrosas y arcillas saturadas con hierro;

Los suelos pueden clasificarse por su funcionalidad y características físicas. Así, por su funcionalidad se distinguen los siguientes tipos:

## 8.2 Clasificación por su funcionalidad

-*calizos*: secos, áridos y abundantes en sales calcáreas, no adecuados para la agricultura;

-*arenosos*: tienen muy poca materia orgánica y no retienen agua; tampoco son adecuados para la agricultura;

-*humíferos* (tierra negra): contienen abundante humus o materia orgánica en descomposición; de color oscuro, retienen bien el agua y son adecuados para el cultivo;

-*arcillosos*: formados por granos finos de color amarillento o rojizo, retienen el agua formando charcos; mezclados con humus pueden ser buenos para cultivar; este es el tipo de suelo que se encuentra en las áreas donde la podokoniosis es prevalente;

-*pedregosos*: formados por rocas de diferentes tamaños, no retienen el agua y no son adecuados para la agricultura;

-*mixtos*: con características intermedias entre suelos arenosos y arcillosos;

### 8.3 Por su composición y características físicas

-*álficos*: con aluminio y hierro; forman capas u horizontes con arcillas y humedad suficiente como para facilitar el crecimiento de las plantas; representan alrededor del 10% de todos los suelos de la superficie terrestre;

-*ándicos* (*de los Andes*): con cenizas volcánicas; son muy fértiles y representan el 1% de los suelos;

-*áridicos*: suelos secos y desérticos; muy escasos en materia orgánica, constituyen el 12% de todos los suelos;

-*énticos* (también llamados fluvisuelos): se han formado recientemente y carecen de capas u horizontes bien definidos; se originan por los sedimentos de los ríos y aún no están consolidados; representan el 18% de todos los suelos;

-*espódicos* (*G. spodos*: ceniza): suelos ácidos con una capa de materia orgánica ligada a aluminio y hierro; en ellos crecen bien las coníferas y constituyen el 4%;

-*géllicos* (o *permafrost*, permanentemente congelados): suelos congelados en, al menos, sus dos metros superiores; son el 9,1% de los suelos;

-*hísticos*: suelos orgánicos o cenagosos; representan el 1,2% de la superficie terrestre;

-*incépticos* (*L. inceptum*: inicio): suelos jóvenes, con horizontes 0 y A aún en formación y escasamente irrigados; constituyen el 15% de todos los suelos;

-*litosuelos* o *leptosuelos* (*G. litos*: piedra; *G. leptos*: delgado): con menos de 10 cm de espesor; sostienen vegetación baja;

-*lúticos* (*L. luteus*: arcilla): con una proporción de arcilla superior al 50%;

-*móllico* (*L. mollis*: blando, mullido): suelos oscuros, blandos, mullidos, con extensas áreas de hierba verde y una profunda capa A; representan el 7% de todos los suelos;

-*óxicos*: son suelos muy desgastados, ricos en óxidos de aluminio y caolín, pero escasos en sílice; se encuentran en áreas de alta temperatura, son muy escasos en nutrientes y representan el 7,5% de todos los suelos;

-*últicos*: suelos ácidos en áreas tropicales y subtropicales, con humedad abundante y ricos en nutrientes, calcio, magnesio y potasio; constituyen el 8.1% de todos los suelos; y

-*vérticos* (*L.verto*: volver): suelos arcillosos de color negro localizados en superficies de poca pendiente y cercanos a escorrentías superficiales; aunque son impermeables retienen mucha agua, poseen una alta capacidad de expansión y son muy activos químicamente ya que adsorben iones y moléculas; además, son ricos en nutrientes, están bien estructurados y representan el 2,4% de todos los suelos.

#### 8.4 Horizontes, estructura y componentes del suelo

En un suelo se distinguen los siguientes horizontes o capas <sup>(55)</sup>, (Fig. 11):

-*Horizonte O*: semejante a la lámina de nata sobre la leche, es la capa más superficial del horizonte A o inmediatamente inferior.

-*Horizonte A*, o zona de lavado vertical: es el más superficial y en él enraízan las hierbas; puede medir desde centímetros hasta metros y suele ser de color oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus elaborado.

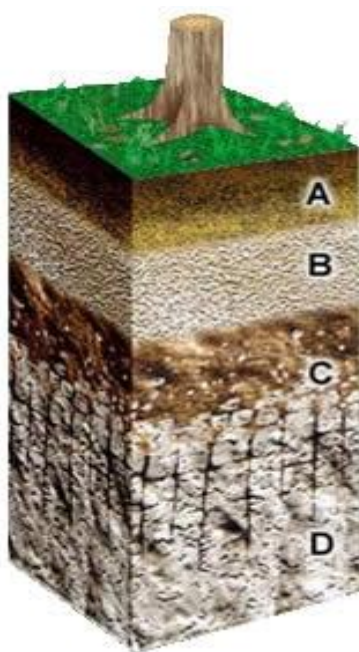
-*Horizonte B*, o zona de precipitado: de color pardo o rojizo por apenas contener humus; en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, etcétera; en este horizonte se ven los encostramientos calcáreos áridos y las corazas arcillosas tropicales.

-*Horizonte C*, o subsuelo: está constituido por la parte más alta del material rocoso, sobre el que se apoya el suelo; más o menos fragmentado por la alteración mecánica y química, en él aún pueden reconocerse las características originales de la roca.

-*Horizonte D*, o roca madre: es el material rocoso subyacente que no ha sufrido alteraciones físicas o químicas.

Las partículas del suelo no se encuentran aisladas, sino que forman agregados estructurales o terrones. Los agregados están formados por partículas individuales

(minerales, materia orgánica, agua, aire, poros) que confieren al suelo una determinada estructura. Ésta, más que una propiedad, es un estado ya que cuando el suelo está seco, se agrieta y se manifiesta la estructura, pero si está húmedo, el suelo queda sin grietas, se vuelve amorfo y la estructura no se manifiesta. En los terrones hay un material inerte, arenas, y agentes cementantes como la materia orgánica y las arcillas.



A	A00. Hojas y residuos orgánicos sin descomponer
	A0. Residuos parcialmente descompuestos
	A1. Color oscuro por presencia de materia orgánica
	A2. Color claro por efecto del lavado
B	B2. Precipitación de sustancias lavadas de A
	B3. Transición B-C
C	Restos y fragmentos de meteorización de roca madre
D	Roca madre

Figura 11. Composición de los diferentes horizontes del suelo.

La porosidad representa el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo. Es un parámetro importante porque de él depende su comportamiento frente a las fases líquida y gaseosa, y, por lo tanto, es vital para la actividad biológica que pueda producirse en él.

En el suelo se distinguen estructuras simples y compuestas.

-Las *estructuras simples* pueden ser: a) *particulares* (suelos compuestos de partículas individuales sin estructura; suelen ser suelos arenosos y fácilmente penetrables); b) *masivas*: suelos con agregados consolidados en una masa uniforme, con cierto porcentaje de arcillas y materia orgánica, más difíciles de penetrar en seco; y c) *cementadas*: los agregados han sido deformados o compactados al ser pisados o trabajados.

-Las *estructuras compuestas* pueden adoptar las siguientes formas: a) *grumosa* (suelos con agregados o grumos redondeados, producto de la acción de las raíces y la descomposición de materia orgánica); b) *laminar*: agregados en los que predominan los ejes horizontales; este tipo de estructura dificulta el drenaje del agua y la penetración de las raíces; c) estructura *en bloques*: más frecuentes en las capas u horizontes inferiores (B y C), así como en suelos pesados de textura fija; y d) *prismática o columnar*: suelos con más o menos aristas en sus bordes.

La naturaleza y composición de un suelo depende: -de las características de la roca originaria; -del tiempo transcurrido desde que empezó a formarse; -del clima (cantidad y tipo de precipitaciones; variaciones de temperatura), y -del tipo de organismos vivos que se desarrollan en él.

Todos los suelos se componen de partículas minerales que actúan como su esqueleto, producidas por la meteorización y la descomposición de las rocas superficiales, junto con materia orgánica, aire, agua y microorganismos.

Los componentes sólidos que podemos encontrar en los suelos son:

- clastos y granos poliminerale*s: materiales residuales de la alteración mecánica y química incompleta de la roca originaria;
- silicatos*: cuarzo, micas y feldespatos, y, como productos no formados plenamente, las arcillas caolinita, illita, etcétera;
- óxidos e hidróxidos de hierro y de aluminio*;
- otras sales*: carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos, cloruros y nitratos;
- sólidos orgánicos y complejos órgano-minerales*: representan entre el 1 y el 5% del volumen del suelo y abarcan el *humus joven, o bruto* formado por restos de hojas, ramas y restos de animales, y el *humus elaborado, o viejo*, formado por sustancias orgánicas derivadas de la descomposición del humus bruto; de color negro, en él existen derivados nitrogenados (amoníaco, nitratos), hidrocarburos, celulosa, etc. Según el pH predominante en el suelo, determinado por la roca madre, este humus puede ser ácido, neutro o alcalino, lo que condiciona las especies vegetales que viven sobre él.

En zonas con un índice pluviométrico alto suele existir una menor proporción de materia orgánica en el suelo pero con mayor disponibilidad de elementos minerales



para las plantas. Al elevarse la temperatura es mayor la descomposición de la materia así como del material originario o roca madre, por lo que los sometidos a altas temperaturas durante meses suelen mostrar tasas relativamente bajas de materia orgánica.

Los componentes sólidos del suelo son los que definen su densidad y textura y así se consideran dos tipos de densidad: aparente y real. La *densidad aparente* es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Se calcula dividiendo el peso de un determinado volumen de tierra en bruto entre tal volumen; el resultado se expresa en kg/m<sup>3</sup>. La densidad aparente de los suelos varía según la textura y estructura entre 1.100 y 1.900 kg/m<sup>3</sup>. La *densidad real* es la densidad de las partículas sólidas del suelo y se calcula dividiendo el peso del suelo secado en una estufa entre el volumen que ocupan los sólidos. La densidad real de los suelos más comunes es de 2.500 a 2.700 kg/m<sup>3</sup>.

#### 8.5 Textura del suelo. Granulometría y elementos químicos del suelo

El término *textura* define la composición granulométrica o tamaño de las partículas del suelo <sup>(56,57)</sup>. Para la clasificación de la textura se utiliza la ideada por el químico sueco Albert Atterberg en 1911, asumida por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, que utiliza los términos: ‘grava’ (granos entre 20 y 2 mm de diámetro), ‘arena gruesa’ (granos entre 2 y 0,2 mm de diámetro), ‘arena fina’ (entre 0,2 y 0,02 mm), ‘limo’ (entre 0,02 y 0,002) y ‘arcilla’ (partículas de diámetro menor de 0,002 mm, ó 2 µm).

Cuando se hace referencia a la textura de un suelo se obvia su contenido en grava y sólo se indica la fracción que se estudia en el laboratorio de análisis de tierra fina. Por ejemplo, un suelo con un 25% de arena, 25% de limo y 50% de arcilla, se dice que tiene textura arcillosa.

Los términos texturales se definen de una manera gráfica en el diagrama triangular de Atterberg que representa los valores de las tres fracciones, (Fig. 12). El *análisis granulométrico* es el dato más valioso para interpretar el origen y las propiedades de los suelos, ya que la mayoría de sus propiedades físico-químicas (color,

estructura, consistencia, porosidad, aireación, permeabilidad, retención de agua, capacidad de cambio y reserva de nutrientes) están definidas por su granulometría.

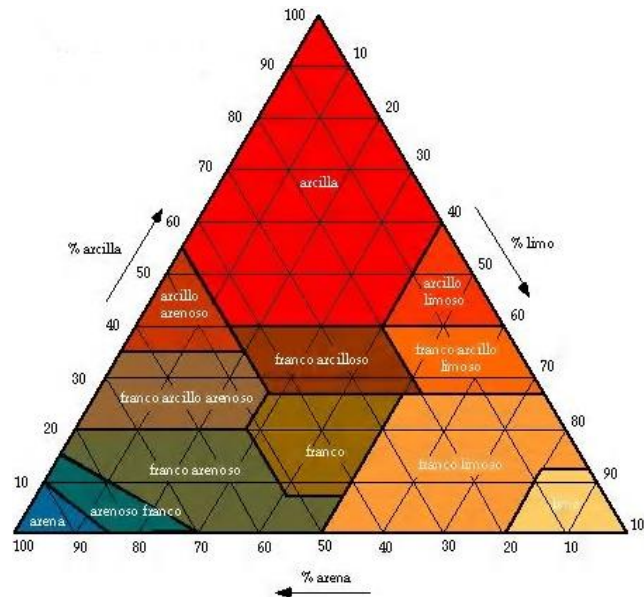


Figura 12. Diagrama de Atterberg para la clasificación granulométrica de los suelos

Los elementos químicos del suelo pueden encontrarse: 1) En la fase sólida. 2) Inmovilizados en una red cristalina. 3) Inmovilizados en aluminosilicatos amorfos. 4) Inmovilizados en compuestos orgánicos. 5) Disueltos en la solución o fase líquida del suelo; el agua de este sistema corresponde al agua capilar y gravitacional, aquella en la que se disuelven las sustancias minerales solubles procedentes de la mineralización, meteorización e hidrólisis de los minerales primarios; los iones presentes en la solución del suelo se encuentran hidratados al estar rodeados por moléculas de agua y esa hidratación influye en la movilidad de los iones de los elementos químicos del suelo ya que incrementa su radio iónico; asimismo, los elementos presentes en la fase líquida pueden ser lixiviados (transportados o perdidos por lavado). 6) Elementos en la interfase sólido-líquido; aquí, los elementos se encuentran adsorbidos en la superficie de las partículas sólidas, de modo que están en íntimo contacto con la solución; la base del proceso de intercambio reside en este compartimiento, también llamado *complejo de cambio* o *complejo adsorbente*, constituido sobre todo por arcillas y materia orgánica en forma de humus, poseyendo carga negativa lo que facilita su adsorción de cationes.

## 8.6 Agua y permeabilidad del suelo. Relación del agua con los sólidos del suelo

En el suelo hay agua, el solvente universal en la naturaleza, y disoluciones acuosas de sales e iones comunes como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ... junto con muchas sustancias orgánicas. Estos líquidos son el vehículo de las sustancias químicas en el seno del sistema <sup>(58)</sup>.

El agua del suelo puede proceder de distintas fuentes: -de precipitación o de lluvia, que es la mayor parte del agua aportada en la mayoría de los sistemas; -nieblas y humedad atmosférica, que representa un aporte muy débil, pero que en ciertos casos es la única aportación de agua durante la época seca; y -agua freática, o de origen subterráneo.

Una vez en el suelo, el agua de lluvia puede seguir distintos caminos: -*agua de escorrentía*, que circula en paralelo a la superficie del suelo sobre y a través de los horizontes superiores; aparece al empezar a llover sobre la superficie del suelo cuando existe una cierta pendiente, siendo necesario para que se forme la escorrentía que el agua precipitada en un intervalo concreto de tiempo sea mayor que la cantidad que el suelo puede absorber por sus características físicas o por el aporte previo; y -*agua gravitacional*, la que se infiltra por efecto de la fuerza de la gravedad a través de los poros del suelo de diámetro superior a 10  $\mu\text{m}$ ; esta agua circula en sentido vertical u oblicuo (si existe pendiente) y, cuando la permeabilidad de los horizontes inferiores del suelo es muy baja, puede acumularse formando una capa de agua “suspendida” de manera temporal.

El agua del suelo está sometida a tres tipos de fuerzas: -*fuerzas moleculares* (que la adhieren a las partículas sólidas); -*fuerzas de succión*, que tienden a retenerla en los poros; y -*la fuerza de la gravedad*, que tiende a desplazarla a capas cada vez más profundas. Si predominan las fuerzas de succión el agua queda retenida, pero si son menores que la fuerza de la gravedad, el agua desciende. Además, el agua también asciende en el suelo por capilaridad (efecto intenso en climas áridos) y por diferencia de humedad (los horizontes más profundos permanecen más húmedos al estar protegidos de las pérdidas de agua por evaporación y la absorción por las plantas).

El agua puede relacionarse de tres formas diferentes con los componentes sólidos del suelo (Fig. 13):

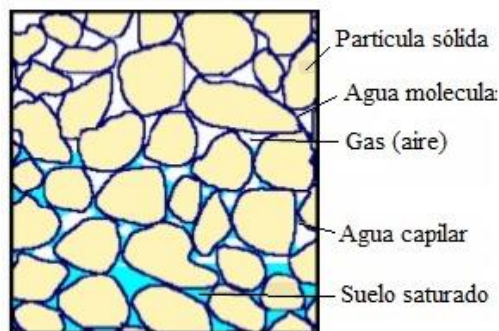


Figura 13. Agua en el suelo.

-agua higroscópica o molecular: agua en forma de lámina muy fina unida a la partícula sólida por una fuerza molecular; esta fuerza es tan enérgica que el agua no es aprovechable por las plantas y sólo puede eliminarse del suelo en hornos de alta temperatura.

-agua capilar o retenida entre las partículas por fuerzas capilares que, en función de la textura de las partículas, pueden ser mayores que la fuerza de la gravedad; esta porción del agua sí puede ser utilizada por las plantas.

-finalmente, el agua que excede al agua capilar puede ocupar todos los espacios intersticiales en las capas superiores, se va filtrando con el tiempo y va a acuíferos profundos. Cuando todos los espacios intersticiales están llenos de agua, el suelo se dice saturado.

El agua, además de ser el solvente de sólidos, líquidos y gases, es un agente que altera la estructura de los materiales ya que dispersa los agregados (por ejemplo, por el impacto del agua de lluvia) o los hincha; al mojarse los terrones, el agua comprime el aire que había en su seno y llega un momento en que al salir ese aire los rompe; y si se congela aumenta su volumen y fragmenta los agregados.

### 8.7 Caracterización geoquímica de las aguas

Las características hidrogeoquímicas de las aguas se precisan mediante diferentes diagramas, entre los que destacan los de Piper, de Schoeller-Berkaloff y Staff <sup>(58, 59)</sup>.

### 8.7.1 Diagrama de Piper

El diagrama de Piper (Fig. 14), es uno de los más utilizados para la caracterización de las aguas. En él se incluyen aniones y cationes simultáneamente, permitiendo la representación del análisis de varias muestras sin confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan así agrupadas en áreas bien definidas. Está formado por dos triángulos equiláteros en los que se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  y los del triángulo de aniones son  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de los datos de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones, en mEq/l, se expresan como % con respecto a la suma de aniones y cationes, respectivamente.

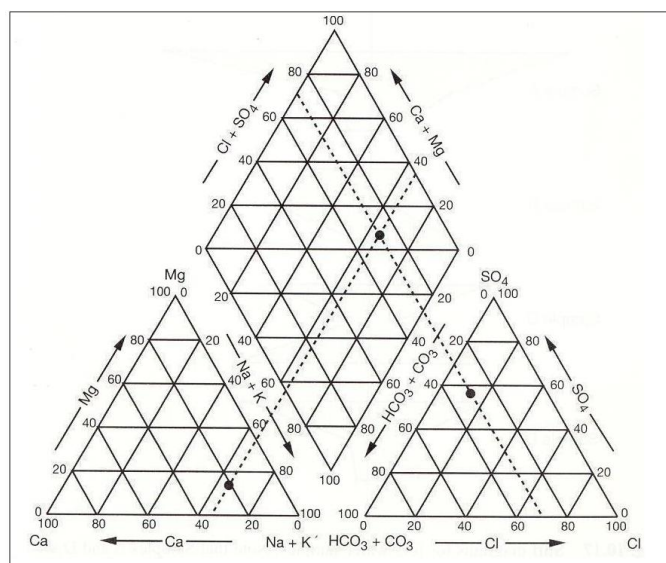


Figura 14. Caracterización de las aguas según el diagrama de Piper.

Para elaborar este diagrama se siguen los pasos siguientes:

a) en primer lugar, si las concentraciones de un ión están en mg/l se pasan a mEq/l dividiendo entre su peso equivalente. Por ejemplo, ante una concentración de calcio de 84 mg/l, para pasarlos a mEq/l se divide entre 20 (peso equivalente del  $\text{Ca}^{2+}$ ) = 4,2 mEq/l (ver Fig. 15);

b) a continuación, los mEq/l de cada parámetro se expresan en %, sumando en primer lugar los aniones y los cationes obtenidos en la muestra y después se divide la concentración de cada parámetro entre la suma de aniones o cationes según corresponda;

c) se dibujan los triángulos teniendo en cuenta que éstos sólo muestran las proporciones entre los aniones y cationes mayores, pero no sus concentraciones.

### 8.7.2 Diagrama de Schoeller-Berkaloff (Fig. 15)

Constituye un sistema de representación de datos hidrogeoquímicos que permite obtener la máxima información sobre ellos. En este diagrama se disponen varias semirrectas o columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica y con el mismo módulo. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión, excepto la primera columna que no tiene asociada ningún ión y cuya unidad de medida es meq/l, frente a las demás expresadas en mg/l.

El orden de las columnas es:

- columna 1, sin ion, unidad de medida mEq/l.
- columna 2:  $\text{Ca}^{2+}$  (en mg/l).
- columna 3:  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/l).
- columna 4:  $\text{Na}^+$  (mg/l).
- columna 5:  $\text{Cl}^-$  en (mg/l).
- columna 6:  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l).
- columna 7:  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l).
- columna 8:  $\text{NO}_3^-$  (mg/l).

Este diagrama permite: a) representar tanto aguas diluidas como concentradas en un mismo diagrama; b) clasificar los diferentes tipos de agua; c) en una misma línea de flujo se puede establecer la evolución del agua en el acuífero, así como determinar los procesos que la modifican como intercambio iónico, procesos de óxido-reducción y mezcla de diferentes tipos de agua; y d) es muy útil para estudiar la evolución temporal de aguas subterráneas en un mismo punto.

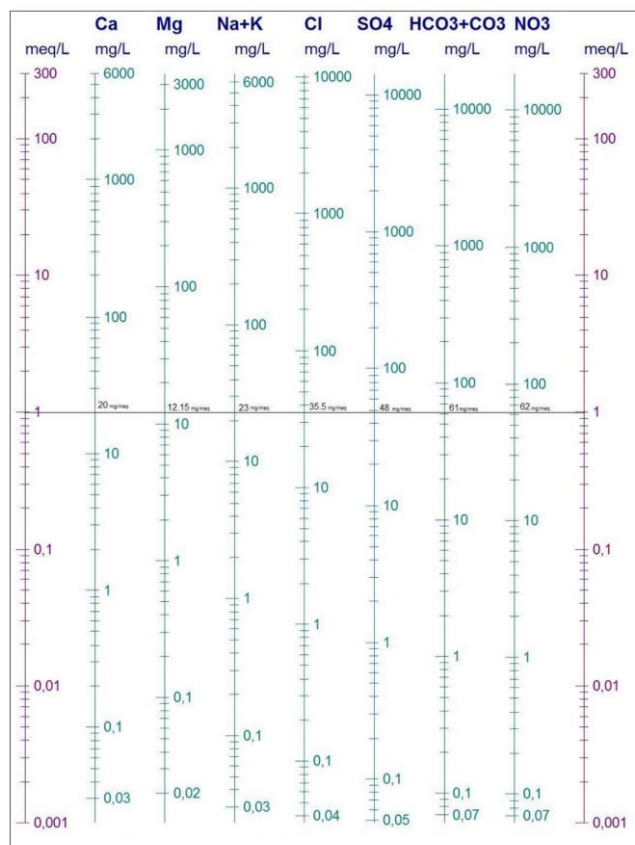


Figura 15. Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

### 8.7.3 Diagrama de Stiff

Permite apreciar los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y aniones de una muestra, (Fig. 16).

Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el  $\text{Na}^+$  se confronta con el  $\text{Cl}^-$ , el  $\text{Ca}^{2+}$  con el  $\text{HCO}_3^-$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  con el  $\text{SO}_4^{2-}$  (a veces también se pueden mostrar otros dos iones, como  $\text{Fe}^{2+}$  con  $\text{NO}_3^-$ ). Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones se expresan en mEq/l.

En este tipo de diagrama sobresalen dos características: a) permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular), y b) a la vez da idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

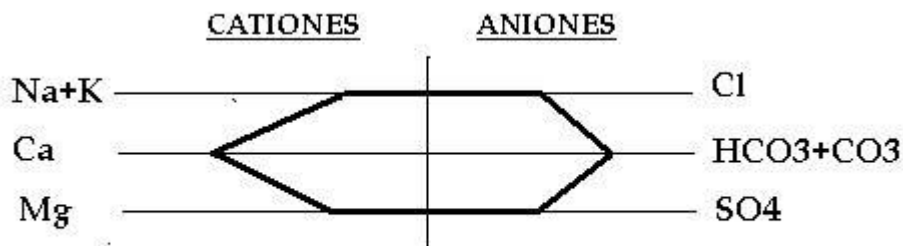


Figura 16. Diagrama de Stiff para valorar la relación entre aniones y cationes en una muestra de agua.

## 8.8 Parámetros de calidad de las aguas

### 8.8.1 Conductividad eléctrica del agua

La conductividad eléctrica (CE) del agua depende de su estructura molecular y es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos; por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración mayor será la conductividad <sup>(59)</sup>. Los valores normales en unidades internacionales son: agua de mar 52 mS/cm (miliSiemens por centímetro); agua de montaña: 1,0  $\mu$ S/cm; agua para uso doméstico: 500-800  $\mu$ S/cm y CE máxima para agua potable: 1055  $\mu$ S/cm; (6). El agua destilada no contiene sales disueltas y, en consecuencia, apenas conduce la electricidad y su CE es casi nula (0,5  $\mu$ S/cm).

### 8.8.2 pH del agua

Es una característica esencial de las aguas ya que, por ejemplo, las reacciones del cloro para su acción antibacteriana y potabilización sólo tienen lugar cuando el pH está comprendido entre 6,5 y 8. La posible alcalinidad de un agua resulta de la cantidad de bases fuertes y de sales de bases fuertes y ácidos débiles. A su vez, la acidez es consecuencia de la suma de componentes como dióxido de carbono, ácidos minerales, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles. Ambas, controlan la capacidad de tamponamiento del agua (para neutralizar variaciones de pH provocadas por la adición de ácidos o bases). El principal sistema regulador del pH en aguas naturales es el sistema del dióxido de carbono, ión bicarbonato y ácido carbónico <sup>(59)</sup>. El agua potable debe poseer un pH comprendido entre 6,5 y 8,5.



### 8.8.3 Nitritos y nitratos en el agua

Las concentraciones de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) en las aguas superficiales bien oxigenadas apenas son detectables, no suelen superar 0,01 mg/l, y cifras superiores indican contaminación fecal reciente. Esos nitritos se encuentran en un estado de oxidación intermedio entre amoníaco y nitrato, y en altas concentraciones (0,1-0,9 mg/l) reaccionan en el organismo con aminas y amidas secundarias formando nitrosaminas con un alto poder tóxico, teratígeno y carcinógeno.

A su vez, los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) son la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno y, a pesar de su baja reactividad química, pueden ser reducidos por acción microbiológica y encontrarse en pequeñas cantidades en las aguas superficiales y subterráneas. Proceden en parte de la descomposición natural de proteínas de plantas o animales por bacterias, dando lugar al catión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que se oxida a nitritos. El principal problema tóxico de los nitratos es la metahemoglobinemia que causa sobre todo en niños menores de cuatro meses. La OMS ha señalado que para consumo humano la concentración máxima de “ión nitrato” sea 50 mg/l y 0,5 mg/l para el “ión nitrito” <sup>(60)</sup>. La concentración orientadora de nitratos para la calidad de las aguas envasadas es 25 mg/l y la máxima tolerable es 50 mg/l.

### 8.8.4 Clasificación de las aguas para riego

La calidad del agua de riego se define en función de tres criterios esenciales: salinidad, cantidad de sodio y toxicidad. El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales en el suelo, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimientos de los cultivos. Mass y Hoffman <sup>(61)</sup>, a partir de datos reales, propusieron en 1977 un modelo al observar que entre la salinidad del suelo y la producción de los cultivos existe una relación lineal expresada mediante la fórmula:

$$P = 100 - b (\text{CEe} - a)$$

en la que P = Producción del cultivo en % respecto al máximo; CEe = Salinidad del suelo expresada como conductividad eléctrica del extracto de saturación y medida en mmhos/cm; y siendo a y b: valores constantes para cada cultivo; el parámetro

“a” puede definirse como el valor umbral de la salinidad para el cultivo, y “b” es el % de disminución de rendimiento por unidad de CEs que supere el valor de “a”. Así, mientras la CEs sea igual o menor que “a”, en mmhos/cm, el cultivo no experimenta disminución en los rendimientos por causa de la salinidad.

#### 8.9 Permeabilidad, perfil y balance hídrico del suelo

Representa la mayor o menor facilidad de circulación del agua en el suelo y depende de la estructura, la textura y la agregación de las partículas minerales y orgánicas <sup>(58)</sup>. La *permeabilidad* es un parámetro esencial ya que influye en la velocidad de edafización (G. *Edafos*: suelo) y en la actividad biológica que puede soportar un suelo. Se mide por la velocidad de infiltración o caudal de agua que puede pasar a su través por unidad de tiempo. Los valores en rango de dm/hora corresponden a suelos muy permeables; cm/h corresponden a suelos permeables, y mm/h son propios de poco permeables.

La velocidad de infiltración puede variar en un mismo suelo, pues depende de su humedad previa. Cuando está seco, la infiltración es máxima y a medida que esté más húmedo su capacidad de admitir más agua será menor hasta alcanzar un valor constante en condiciones de saturación total.

Normalmente en el suelo existe un gradiente de humedad, de forma que no todos sus horizontes poseen el mismo grado de humedad en un momento determinado. La curva que representa la relación del estado de humedad del suelo con la profundidad se denomina “*perfil hídrico*”. Este perfil varía a lo largo del año en función de las precipitaciones según las estaciones y la vegetación que soporta.

El “*balance hídrico*” se valora por los aportes, pérdidas y retenciones. Así, el agua retenida es igual al agua recibida (por precipitaciones y condensaciones) menos el agua perdida por evaporación, transpiración y escorrentías.

Del agua procedente de las precipitaciones atmosféricas sólo penetra una parte. A su vez, de ella una parte se evapora, otra porción escurre, otra pasa a la capa freática, otra es consumida por las plantas y, finalmente, otra porción es retenida. El balance anual se calcula partiendo de los datos climáticos mensuales de

precipitación y temperatura. Se calcula así la reserva de agua o cantidad que puede almacenar un suelo (reserva de agua para los meses secos) y se mide en función de cómo varía la reserva a lo largo del año. Esta capacidad de reserva es fundamental para los suelos que reciben pocas precipitaciones.

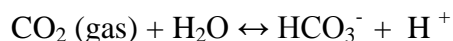
El movimiento ascendente del agua se debe a capilaridad y aumenta si sube la temperatura o si hay plantas. Al secarse, la superficie del suelo forma una capa seca que protege las capas inferiores de la desecación. Esto se conoce como auto-abonado y es característico de suelos muy áridos y cultivados sin máquinas. En los horizontes superiores, la fuerza de succión del agua es mucho mayor que en los inferiores (el suelo que se está desecando en los horizontes inferiores contiene más agua que el que se está humedeciendo en los horizontes superiores). En consecuencia, cada vez asciende menos agua hasta que termina por anularse. Este proceso contribuye a estabilizar el grado de humedad del suelo, pero a la vez también reduce la infiltración y, en consecuencia, favorece las escorrentías y la erosión.

#### 8.10 Gases, flora, fauna, microorganismos y pH del suelo <sup>(58, 62)</sup>

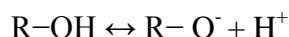
*El componente gaseoso* del suelo corresponde a aire atmosférico infiltrado en la superficie y varía en función del consumo de  $O_2$  y la producción de  $CO_2$  por la respiración de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces. En los suelos con mal drenaje los gases más comunes son el metano ( $CH_4$ ) y el óxido nitroso ( $N_2O$ ). Además, en ocasiones puede haber radón, gas noble radiactivo producido por la fisión de isótopos de potasio, torio o uranio, acumulándose disuelto en el agua intersticial de los suelos de áreas graníticas.

En el suelo se encuentran *flora, fauna y todo tipo de microorganismos*. La actividad de éstos es mayor en áreas con lluvias abundantes que favorecen la descomposición tanto de la materia orgánica como de los compuestos minerales. Ante lluvias abundantes, los agregados de partículas de arena, limos y arcillas tienden a separarse en agregados de menor tamaño, lo que favorece la captación de nutrientes por las raíces de las plantas. La biota del suelo, fauna y flora que viven en él, constituye la fuente de material para la fracción biológica (vegetales y animales) que al morir se incorpora al mismo.

El  $pH$  <sup>(62)</sup> de los suelos naturales va desde 3 (suelos con sulfatos ácidos) hasta 10 (suelos alcalinos, ricos en carbonatos). Los más adecuados para la agricultura tienen un pH entre 5,5 y 8,5. Tal pH no es constante, ya que varía en función de la estación del año, del desarrollo del cultivo y del  $CO_2$  de la atmósfera del suelo, producto de la respiración de la biomasa edáfica, que puede ocasionar una cierta acidificación (protonización) del mismo:

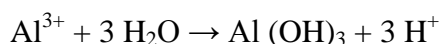


La superficie de los coloides del suelo puede estar cargada negativamente por los átomos de oxígeno ( $O^-$ ) y los grupos hidroxilo no compartidos ( $OH^-$ ), así como por las sustituciones isomórficas en los grupos tetraédricos u octaédricos de los cristales de arcilla. Esas cargas pueden estar relacionadas con la cantidad de protones según:



Tales cargas dependen del pH, ya que cuanto mayor es la concentración de protones en la solución del suelo, mayor es el número de cargas negativas que pueden ser neutralizadas. Por el contrario, las cargas originadas en los procesos de sustitución isomórfica en las arcillas son cargas permanentes ya que no dependen del pH.

Frente a la idea clásica de que los *suelos ácidos* sólo son los que poseen un exceso de protones, hoy se considera que también lo son aquellos ricos en  $Al^{3+}$ . La razón es que en medio ácido se colapsa la estructura cristalina de las arcillas (se saturan por el exceso de  $H^+$ ), liberando cationes como  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ , etcétera. Estos cationes pasan a la solución acuosa del suelo, (el hierro precipita como  $Fe_2O_3$  dando lugar al color rojo característico) y el  $Al^{3+}$  reacciona con el agua para formar hidróxido de aluminio y liberando protones:



Asimismo, la descalcificación del suelo también contribuye a su acidificación, como ocurre en los suelos escasos en calcio, o por los cultivos y las lluvias, que por contener una pequeña cantidad de ácido carbónico, disuelven la caliza del suelo

$(\text{CO}_3 \text{ H}_2 + \text{CaO} \rightarrow \text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O})$  originando carbonato cálcico que es “lavado” o arrastrado a capas más profundas.

Los suelos ácidos poseen estructuras poco desarrolladas y son poco porosos y permeables, por lo que están mal aireados. Ello dificulta la labor agrícola, limita el desarrollo de las raíces de las plantas y facilita la erosión. Estos efectos se deben también a la simultánea escasez en iones  $\text{Ca}^{2+}$  que, por un lado, causa la formación de agregados de las arcillas y, por otro, empeora la calidad de la materia orgánica.

Además, el pH del suelo afecta a la solubilidad de los nutrientes y, por lo tanto, a la nutrición mineral de las plantas. Así, los fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) son insolubles en medios muy ácidos (en los que se encuentra como  $\text{FePO}_4$  o  $\text{AlPO}_4$ ) o muy básicos, por ejemplo, los ricos en fosfato de calcio  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Por su parte, las sales de Fe, Mn, o Zn son más solubles en medio ácido que en medio básico. La elevada solubilidad de compuestos de Al, Fe, Zn, Mn o Ni en un suelo con pH muy ácido daña las plantas.

Finalmente, el pH del suelo tiene una notable influencia sobre su actividad biológica. Así, en los suelos ácidos se frena tal actividad porque la acidez influye negativamente en la distribución de la fauna (como las lombrices) y en la biomasa representada por las bacterias nitrificantes. Estas bacterias (*Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*) del suelo captan el nitrógeno atmosférico para formar ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) que es asimilado por las plantas. Tanto éstas como los productos del metabolismo de los animales producen amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) que las bacterias transforman en ión nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ); y a continuación, por acción de las mismas se produce el paso de nitrito a nitrato ( $\text{NO}_3$ ).

La fijación del nitrógeno atmosférico depende de esas bacterias cuyo pH óptimo de acción es 6 y no se produce a  $\text{pH} < 4.5$ . Sin embargo, en los suelos neutros o levemente básicos ( $\text{pH } 7 - 7,5$ ) existe un gran número de ellas y su actividad es aún mayor cuando aumenta la proporción de caliza. Pero, a pH alcalinos (por ejemplo 9) vuelve a ocurrir lo mismo que a  $\text{pH} < 5$  y prácticamente no hay actividad de las bacterias nitrificantes.

### 8.11 Degradación del suelo

Tanto el lecho de roca madre como los suelos se degradan en partículas cada vez más pequeñas por factores como meteorización, erosión, transporte y sedimentación <sup>(56)</sup>.

*-Meteorización:* es la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos. Puede ser física (por ejemplo, al bajar las temperaturas se congela el agua presente en las grietas de las rocas, aumentando su volumen y fracturándolas); o química (los materiales rocosos reaccionan con el agua o con sustancias disueltas en ella).

*-Erosión:* desgaste y fragmentación de los materiales de la superficie terrestre por acción del agua, el viento, etcétera; tales fragmentos se denominan detritos.

*-Transporte:* es el traslado de los detritos de un lugar a otro.

*-Sedimentación:* depósito de los materiales transportados; cuando los sedimentos se cementan, originan las llamadas rocas sedimentarias (presentes en las orillas y desembocadura de los ríos, en el fondo de barrancos, de valles o de lagos).

Igualmente, los organismos vivos contribuyen a la formación del suelo desintegrándolo cuando viven en él y añadiendo materia orgánica tras su muerte.

A medida que el suelo se desarrolla se forman capas horizontales, u horizontes, con diferente composición, textura y adherencia, y cuya profundidad depende de la naturaleza de su base rocosa, el clima, la erosión por los agentes atmosféricos y la inclinación, que facilita el arrastre de la tierra por las aguas.

### 8.12 Granulometría del suelo

La acción de los factores formadores del suelo se manifiesta en su textura. Así, la roca posee una textura determinada, más evidente cuanto más joven sea el suelo. El clima influye en la textura en función de su agresividad (textura grosera en climas áridos, arcillosa en climas húmedos y templados). A su vez, el relieve condiciona el transporte de las partículas y el tiempo aumenta la proporción de arcilla. En general, la relación entre la cantidad de arcilla del material original y la de cada uno de los horizontes de un suelo es un buen índice del grado de evolución <sup>(61)</sup>.

Las partículas del suelo no están sueltas sino que forman agregados y para estudiarlas es preciso destruir la agregación (desgranar) para separar las partículas individuales. Por ello, antes de proceder a la extracción de las diferentes fracciones, la muestra debe ser preparada. En esta *fase previa de desgranado* se utilizan métodos físicos (tritución suave, agitación lenta, agitación rápida, ultrasonidos, lavado y cocción) y químicos (oxidación de la materia orgánica con agua oxigenada, ataque de los carbonatos y compuestos de hierro con HCl y dispersión de las arcillas con hexametáfosfato sódico o amoníaco). Como los agentes agregantes pueden ser distintos, normalmente no basta uno sólo de estos métodos sino que se precisa una serie de tratamientos previos.

La extracción final de las fracciones se realiza mediante tamizado en el caso de las arenas, mientras que el método habitual de separación de los limos y las arcillas es la sedimentación en fase acuosa. A su vez, para subfraccionar la fracción arcilla se debe recurrir a la centrifugación.

#### 8.13 Análisis cualitativo y cuantitativo del suelo

El análisis fino de la composición de una muestra suele hacerse hoy mediante “ablación con láser y espectrometría de masas en plasma acoplado inductivamente” (LA-ICP-MS: *Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) <sup>(63)</sup>. Mediante esta técnica, las muestras, previamente disueltas con un nebulizador que las convierte en un aerosol, son fragmentadas mediante un láser de argón. Las partículas ultrafinas así originadas son transportadas a un espectrómetro de masas que analiza su composición cuantitativa, cualitativa y los isótopos que la componen. A diferencia de la espectroscopia de absorción atómica, que sólo puede cuantificar un elemento en una muestra dada, la LA-ICP-MS detecta todos los elementos con masa atómica comprendida entre el litio y el uranio en concentraciones tan bajas como del orden de ng/l, o en el otro extremo de hasta 100 g/l.

#### 8.14 Calor y suelo

La corteza terrestre tiene un espesor de 35 Km aproximadamente y por debajo de ella se encuentra el manto, con una temperatura de unos 1.200° C, y el núcleo con

unos 6.000° C. El suelo se calienta por las radiaciones solares y su temperatura depende de cómo llegan esas radiaciones a la superficie (humedad atmosférica, transparencia, nubosidad, precipitaciones, vientos, topografía, cobertura vegetal, etcétera) y de cómo las asimile (humedad, color, calor específico, conductividad, etcétera).

La temperatura del suelo está directamente relacionada con la del aire atmosférico próximo a la superficie y varía a lo largo del día y según las estaciones, variación que se amortigua con la profundidad. A 50 centímetros, la temperatura es la del aire atmosférico más 1° C y aumenta a razón de 1° C por cada 30 metros, de forma que a 100 metros de profundidad es de unos 15° C. Esa distribución de la temperatura en función de la profundidad constituye el perfil térmico <sup>(64)</sup>.

### 8.15 Geosfera. Teoría tectónica de placas. Capas de la Tierra

La Tierra es un planeta de 6.300 Km de radio que debió formarse hace unos 4.600 millones de años por la agregación de partículas procedentes del *Big-Bang*. Los impactos entre esas partículas, la desintegración de elementos radiactivos y el aumento progresivo de la masa dieron lugar a altas temperaturas y fusión de la materia. La disposición de los materiales de la *geosfera* (*litosfera* más *hidrosfera*) en función de su densidad se debió al movimiento de rotación de la Tierra: los más densos en el interior y los menos densos en la superficie, razón de las capas que existen en nuestro planeta. Además, los continentes no son algo estático, sino que se desplazan sobre la superficie terrestre <sup>(65-68)</sup>.

La litosfera es la capa externa y rígida de la Tierra, integrada por la corteza y parte del manto, con una profundidad entre 10 y 70 km y constituida fundamentalmente por silicatos. En ella se distinguen los siguientes componentes: corteza oceánica, corteza continental, manto y núcleo.

-*Corteza oceánica*: De seis a doce Km de espesor está formada a partir de magmas basálticos. En ella se encuentran las *grandes dorsales oceánicas*, cadenas montañosas de unos 70.000 Km de longitud que surcan los fondos oceánicos de Norte a Sur y de Este a Oeste (Fig. 17). Aunque estas cadenas pueden originarse en los continentes (como la del Gran Valle del Rift en África Oriental), en su mayor



parte son oceánicas; poseen una intensa actividad volcánica, se elevan unos 1.000 a 3.000 m sobre el fondo de los océanos y pueden emerger (como en el caso de Islandia o las islas Ascensión y Santa Elena en la dorsal centroatlántica).

Sus rasgos esenciales son: a) tienen grandes pendientes a sus lados; b) sus crestas presentan cortes transversales; y c) entre esas crestas se forman enormes surcos o valles (*rifts*) por los que continuamente sale magma desde la capa superior del manto a través de fisuras, originando nueva corteza oceánica y nuevos volcanes. Por ello, a lo largo de eones el fondo del océano se va expandiendo (y con él su superficie) y hace que los continentes se vayan alejando entre sí, como ocurre entre Europa y África con respecto a América desde hace 180 millones de años.

*-Corteza continental:* De 20 a 70 Km de espesor está compuesta por diferentes rocas de hasta 4.000 millones de años de antigüedad. La corteza se encuentra en equilibrio o isostasia con respecto a las demás capas de la Tierra. El *principio de isostasia*, enunciado a finales del siglo XIX, afirma que “la corteza flota sobre el manto como un iceberg en el océano”. Al ser la corteza menos densa que el manto, “flota como un barco sobre el mar”, de manera que la parte sumergida es proporcional a la que emerge, y cuando ésta varía su volumen, se produce un levantamiento o hundimiento de la parte sumergida.

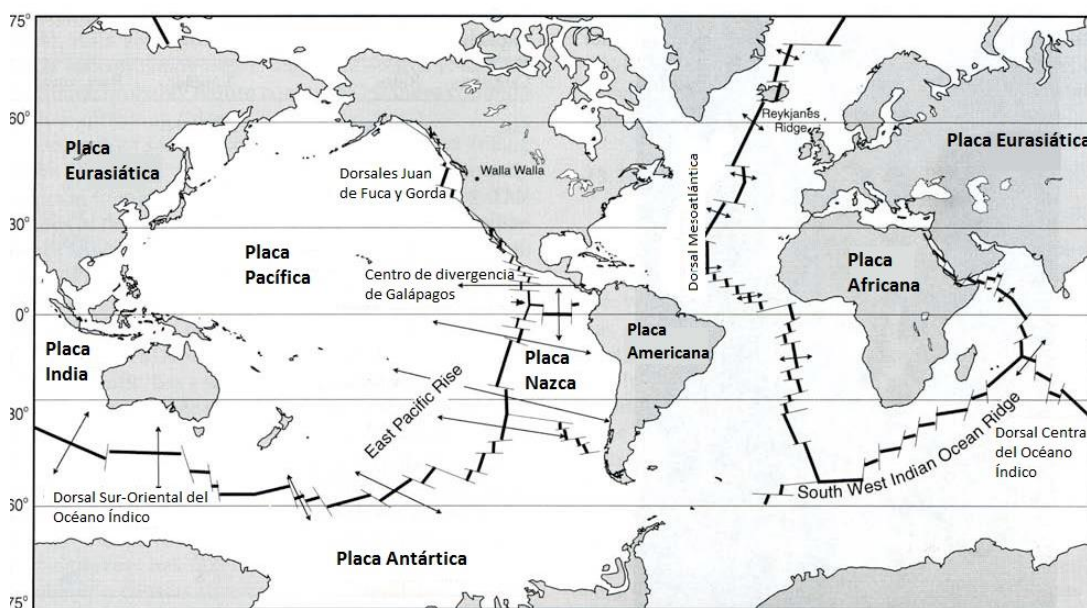


Figura 17. Dorsales oceánicas, rifts y zonas de subducción (hundimiento de una placa litosférica debajo de otra) en la corteza terrestre

El geofísico alemán Alfred Wegener (1880-1930) fue quien, en 1915, en su obra *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn. Braunschweig, 1915) traducida al inglés medio siglo después (*The Origin of Continents and Oceans*. Dover Publ. NY. 1966), propuso que en el pasado geológico los continentes debieron estar unidos en un supercontinente al que denominó *Pangea*, y que posteriormente se habría fragmentado y disgregado por la deriva de las placas tectónicas sobre el manto terrestre.

Los estudios geológicos confirmaron la hipótesis de Wegener. Hoy se sabe que las placas tectónicas son parte de la litosfera, que se extienden a profundidades de 100 a 200 km y que, según la teoría tectónica, esas placas (Euroasiática, Africana, Arábica, Indoaustraliana, Filipina, Norteamericana, Sudamericana, del Pacífico y placa Antártica) se extienden como caparazones curvos sobre una esfera y se desplazan horizontalmente con respecto a las vecinas.

-*Manto*: Capa de 2.900 Km de grosor, más densa que la corteza, constituida por rocas, sobre todo silicatos tipo peridotitos (olivinos y piroxenos) y óxidos de magnesio, hierro y aluminio. A su vez, a unos 650 Km de profundidad, en el manto se distingue una subcapa superior, viscosa y elástica, y una subcapa inferior más rígida. Las ondas sísmicas se originan precisamente en esa interfase entre el manto superior e inferior. Existe una diferencia importante de temperatura entre ambas subcapas (650° C en la porción en contacto con la corteza y 3.500° C en la que contacta con el núcleo) y de densidad (3,4 - 4,6 Kg/dm<sup>3</sup> en la superior y 4,6 - 5,5 en la inferior) causa de la formación de corrientes de convección desde la porción inferior a la superior. Precisamente, la energía de esas corrientes originadas por la diferencia de temperatura y densidad es el motor de las placas litosféricas (fragmentos de litosfera que se mueven como bloques rígidos sobre el manto superior, sin deformarse) y un elemento fundamental en la fusión de las rocas.

La fusión de las rocas por descompresión obedece a que, en ausencia de agua, la temperatura de fusión aumenta al subir la presión, y ésta aumenta con la profundidad; por ello, la disminución de la presión facilita la fusión de las rocas. De tal manera, una roca profunda muy caliente puede mantenerse en estado sólido por la gran presión a la que se encuentra confinada, pero se fundirá si asciende, y

su presión de confinamiento disminuirá más deprisa que su temperatura ya que las rocas conducen mal el calor.

Igualmente, el agua y el CO<sub>2</sub> son factores que, ante una presión determinada, facilitan la fusión de las rocas a temperaturas más bajas. Por ejemplo, en presencia de agua, a 100 Km de profundidad, la peridotita (roca compuesta por olivino – silicatos de magnesio y hierro- piroxeno y anfíboles) comienza a fundirse a 800 °C, pero sin agua se funde a 1.500° C. Asimismo, el CO<sub>2</sub>, aunque menos importante, también influye en la fusión del magma. Así, a 70 Km de profundidad el CO<sub>2</sub> disminuye el punto de fusión de la peridotita en 200 °C, y se calcula que a 200 Km se reduce 400 °C. Y es posible que los magmas que originan rocas como la carbonatita, nefelinita y kimberlita, se generen por el efecto del CO<sub>2</sub> en el manto a más de 70 Km de profundidad.

-*Núcleo de la Tierra*, con un radio de 3.500 Km es el principal responsable del campo magnético terrestre. Se compone de hierro y níquel con agregados de cobre, azufre y oxígeno. Se piensa que no es continuo, sino que su porción externa (con un radio de 2.300 Km, una temperatura de 4.000 a 5.000 °C y una densidad de 9 Kg/dm<sup>3</sup>) es líquida; mientras que la interna, con un radio de 1.200 Km, es sólida y, con una densidad de 12, debe poseer un movimiento de rotación.

#### 8.16 Volcanes y lavas

Los volcanes son la manifestación en la superficie terrestre de los procesos magmáticos que se producen en su interior. El *magma* se origina por la fusión parcial de la corteza o la capa superior del manto a más de 250 Km de profundidad y se compone de una mezcla de minerales fundidos, cristales en suspensión y gases (sobre todo vapor de agua y CO<sub>2</sub>). Tales minerales son silicatos con aluminio, hierro, magnesio, sodio, potasio, calcio, berilio, etcétera, y los cristales en suspensión corresponden a fragmentos de roca (relictos) y granos minerales neoformados al cristalizarse el magma <sup>(69-73)</sup>

La erupción depende de la propia composición del magma, del accidente (grieta, cono) por el que sale, de las rocas que se forman durante la propia erupción, y de si ésta se produce al aire libre o debajo del mar.

Las características del magma dependen de: -a) su temperatura, que determina el tiempo de fusión de cada mineral (las rocas graníticas se funden a 750 °C y las basálticas por encima de 1.000 °C); -b) la presión a la que se encuentra (la presión eleva la temperatura de fusión), y -c) su contenido de agua (que reduce la temperatura de fusión).

El magma cristaliza por enfriamiento. A medida que disminuye la temperatura, los iones dispersos empiezan a combinarse entre sí y a cristalizar, formándose los distintos tipos de silicatos según un *orden de cristalización* (serie de Bowen) que depende del punto de fusión de cada mineral. Así, en función de la cristalización a mayor o menor temperatura, se distinguen dos series o secuencias de cristalización de las rocas ígneas:

a) *continua* (en la que se pasa desde el olivino a feldespatos ricos en calcio, feldespatos intermedios y silicatos ricos en sodio hasta llegar al feldespato potásico y cuarzo), y

b) *discontinua* (olivino → piroxeno → anfíboles → feldespato potásico → cuarzo).

Es decir, a medida que se enfrían, las rocas ígneas originan en primer lugar rocas *ultramáficas* (rocas ígneas con un alto contenido en minerales básicos de magnesio y hierro y bajo contenido en sílice); seguidamente, rocas *máficas* (silicatos y óxidos de magnesio y fierro); a temperatura más baja, *basalto*; a continuación *andesita* y *rocas félsicas* (feldespatos, sílice) y, finalmente, *riolitas* y *granito* (cuarzo con feldespato y mica).

Si el enfriamiento de las rocas ígneas es lento, bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes o rocas de “grano grueso” observables a simple vista, llamadas *plutónicas* o *intrusivas*, como el granito, el basalto, las peridotitas, las dioritas o el pórfido. Estas rocas plutónicas afloran y sólo son visibles cuando la corteza asciende y la erosión elimina las rocas que las cubren.

Frente a las rocas plutónicas, las rocas *volcánicas* o *extrusivas* se forman por la solidificación rápida de la lava en la superficie de la corteza terrestre tras una erupción. La rapidez del enfriamiento hace que los iones de los minerales no puedan organizarse en cristales grandes, por lo que estas rocas son de grano fino (cristales no visibles a simple vista, como el basalto), o totalmente amorfas como la

obsidiana, con textura parecida al vidrio. Por esa textura vítrea, las rocas volcánicas son difíciles de clasificar (basaltos, dacitas, traquitas y andesitas) y en muchas de ellas se pueden ver los huecos dejados por las burbujas de gas que se escaparon durante la solidificación del magma.

Un elemento esencial en la composición de la lava es su contenido en sílice y así, los magmas se clasifican en tres grandes grupos: a) máficos (con una proporción baja de sílice -50%-, fluidos, con un punto de fusión de 1.000-1.250 °C y cuya roca volcánica es el basalto); b) silíceos intermedios (con una proporción de sílice de ~ 60%, con andesita como roca volcánica característica); y c) magmas félsicos, con una proporción de sílice > 65%; erupcionados a una temperatura de ~ 700-800 °C, son viscosos y son del tipo dacita y riolita con cuarzo, feldespato, obsidiana y biotita incluidos en una matriz vítrea.

### **8.16.1 Piroclastos**

Los piroclastos, o tefra, son fragmentos sólidos de material volcánico expulsados a través de la columna eruptiva junto con los materiales que se acumulan por solidificación de las lavas. Incluyen las rocas porfídicas, obsidiana, perlita, piedra pómez, bloques, bombas, lapilli y cenizas volcánicas.

- *Rocas porfídicas* (basalto, andesita, dacita, riolita): Formadas por cristales de composición y estructura variada (olivino, piroxeno y plagioclasa en los basaltos; plagioclasa y anfíbol o piroxeno en las andesitas; cuarzo, feldespato potásico y biotita en dacitas y riolitas); concretamente, el basalto es una roca ígnea volcánica máfica, rica en silicatos de magnesio y de hierro y una baja proporción de sílice; de color oscuro, constituye una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre; forma la mayor parte de los suelos marinos, si bien se encuentra también en grandes superficies de la corteza de la Tierra.

- *Obsidiana*: Roca vítrea de color negro, con alto contenido en magnesio y óxido de hierro, que a veces puede contener cristales de riolitas, andesitas y basaltos.

- *Perlita*: Roca volcánica rica en sílice, con fracturas que aíslan núcleos de vidrio.

- *Piedra pómez* (también conocida como pumita y liparita): Roca ígnea vítrea y porosa, de color blanco o gris, con baja densidad (flota en el agua) y muy rica en

vacuolas; al formarse, la lava lanzada al aire sufre una gran descompresión con liberación de gas que deja espacios vacíos separados por finas paredes de vidrio volcánico. Es una roca joven que contiene feldespatos potásicos, cuarzo, plagioclasa y cristales de biotita; por su composición y su naturaleza vítrea, reacciona con la cal para dar lugar a los llamados cementos puzolánicos.

- *Bloques*: Rocas con formas angulosas de diámetro mayor de 64 mm expulsadas por el volcán en estado sólido.

- *Bombas*: También de diámetro superior a 64 mm, adoptan durante el vuelo forma de huso o de hogazas de pan.

- *Lapilli*: Piroclasto de tamaño medio comprendido entre dos y 64 mm y que suele estar formado por fragmentos de la propia roca volcánica y materiales porfídicos o vítreos

- *Cenizas volcánicas*: Piroclastos de grano fino con diámetro medio menor de dos mm originados durante las erupciones explosivas; son muy abrasivas.

A las altas temperaturas a las que se produce y fluye la lava, las estructuras cristalinas de sus componentes sufren muchas imperfecciones (poros e irregularidades) que las hace inestables tras el enfriamiento y facilita su fragmentación.

Una forma de clasificar las lavas es en función del contenido alcalino o el porcentaje de su peso correspondiente a  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ . Las lavas más habituales (basalto, andesita, dacita y riolita) no son alcalinas, frente a las lavas ligeras o fuertemente alcalinas con un mayor contenido en silicatos alcalinos.

### **8.16.2 Terrenos de origen volcánico**

La actividad volcánica a lo largo de siglos permite la formación y depósito de enormes cantidades de cenizas, generando grandes superficies de terrenos derivados de este tipo de materiales. Esas cenizas son fragmentos finos de roca volcánica, con un tamaño de partículas menor de 2 mm de diámetro y compuestas fundamentalmente de silicatos. Estos, al descomponerse, generan partículas finas de tamaño menor de una décima de milímetro ( $< 0,08$  mm en arcillas y limos)

denominadas alofanos e imogolitas y que son responsables de algunas propiedades singulares de estos suelos, especialmente cuando se encuentran en presencia de agua. Los suelos formados a partir de esas cenizas son conocidos en geotecnia como “alofánicos” (G. *alo*: otro; *fano*: apariencia) y poseen propiedades peculiares debido al predominio en ellos de un conjunto de minerales no cristalinos y paracristalinos que condicionan su comportamiento y uso. El tamaño variado, la gran cantidad de poros, la estructura atómica amorfa y la textura finamente dividida son, entre otras características, las que explican la rapidez del proceso de alteración de los silicatos volcánicos, dando lugar a componentes de alteración con predominio de partículas de alofán  $-Al_2O_3(SiO_2)_3(3H_2O)-$  de morfología esférica, e imogolita,  $Al_2SiO_3(OH)_4$ , de morfología fibrosa. (El término imogolita deriva del japonés *imogo*, palabra con la que se denomina el suelo de ceniza volcánica de color amarillo-marrón donde se encontró)<sup>(74, 75)</sup>.

La principal característica de estas estructuras es que permiten la penetración del agua en su seno y que quede adherida por enlaces atómicos igual que se adhiere a su superficie exterior. En consecuencia, si el índice pluviométrico de la región es alto, basta un pequeño aporte de materia orgánica para que sean suelos muy apropiados para la agricultura.

#### 8.17 Silicio, sílice y silicatos. Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas

El silicio (Si; número atómico 14; peso atómico 28,0; temperatura de fusión 1.410° C; temperatura de ebullición 2.355° C; densidad 2,33 g/cm<sup>3</sup>) es, tras el oxígeno, el segundo elemento en masa más abundante en la corteza terrestre<sup>(66, 73)</sup>.

A su vez, la sílice cristalina (dióxido de silicio, o cuarzo,  $SiO_2$ ) es un óxido ácido muy resistente a la erosión tanto por agentes físicos como químicos, permaneciendo químicamente estable aun cuando la roca se fragmente por la erosión. En condiciones apropiadas de temperatura, presión y humedad, la sílice puede reaccionar con óxidos básicos para formar ácido silícico y silicatos, sales del ácido silícico [ortosilícico ( $H_4SiO_4$ ) y metasilícico ( $H_2SiO_3$ )]. Estos ácidos se desprotonan con facilidad y originan iones  $SiO_4^{4-}$  y  $SiO_3^{2-}$ .

Los silicatos se basan en la repetición de la unidad tetraédrica  $\text{SiO}_4^{4-}$ , cuyas cargas negativas generalmente son compensadas por cationes de metales alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) o alcalinotérreos (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra), así como de otros metales como el aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ).

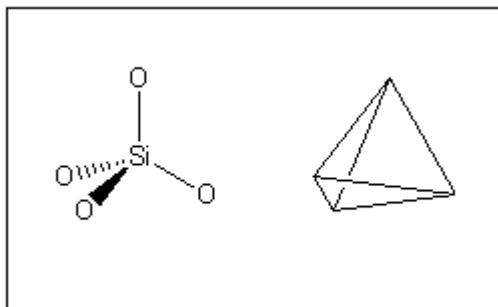


Fig. 18. Ortosilicato ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ); a la derecha, el tetraedro sin los átomos.

Los silicatos se clasifican en función de cómo se unen las unidades tetraédricas. Así se distinguen las siguientes subclases: a) *nesosilicatos*: formados por tetraedros sueltos; (ejemplo: circón y olivino); b) *sorosilicatos* (dos tetraedros unidos por un solo vértice para formar un grupo  $(\text{SiO}_2\text{O}_7)^{6-}$  (ejemplo: epidotita); c) *ciclosilicatos*: grupos de tres, cuatro o seis tetraedros unidos en anillo (ejemplo: berilo - ciclosilicato de berilio y aluminio- y turmalina); d) *inosilicatos*: formados por grupos de tetraedros unidos en largas cadenas de longitud indefinida (ejemplo: piroxeno y anfíbol); e) *filosilicatos*: tetraedros unidos entre sí por tres vértices formando una red planar de dimensiones indefinidas (ejemplo: talco, pirofilita, montmorillonita, caolinita); y f) *tectosilicatos*: tetraedros unidos entre sí por sus cuatro vértices formando una malla tridimensional compleja (ejemplo: cuarzo, tridimita, feldespatos y cristobalita).

La sílice puede ser amorfa o adoptar una forma cristalina, presente tanto en las rocas ígneas como en las sedimentarias y metamórficas.

Las **rocas ígneas** <sup>(66)</sup> pueden contener sílice cristalina, componente por ejemplo del granito, riolita, cuarzo-diorita y andesita, o en forma de depósitos consolidados de cenizas volcánicas denominadas “tobas”. Si el magma que brota de un volcán en erupción se enfría rápidamente, la sílice queda en un estado no cristalino; pero si cristaliza antes de que la lava salga del volcán, queda formando cristales embebidos en el seno de la matriz amorfa.



En general, la composición química de las rocas volcánicas intermedias va desde la andesita (roca ígnea compuesta de plagioclasa y óxidos ferromagnésicos) a la dacita (roca ígnea de alto contenido en hierro), con predominio de piroclastos (fragmentos sólidos de lava de tamaño, composición, morfología y color variado que se emiten a la atmósfera en las erupciones). Sólo como ejemplo, la composición química de la andesita en porcentaje de masa de óxidos, es:  $\text{SiO}_2$  58,7%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  17,24%;  $\text{CaO}$  6,88%;  $\text{FeO}$  4,09%;  $\text{Na}_2\text{O}$  3,53%;  $\text{MgO}$  3,37%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  3,31% y  $\text{K}_2\text{O}$  1,64%.

Las rocas volcánicas básicas suelen estar representadas por basaltos y rocas basálticas laminadas con un comportamiento geoquímico alcalino.

La sílice cristalina en forma de cuarzo es un componente habitual de las **rocas sedimentarias**. Éstas se forman por la acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada por la erosión y se clasifican según su origen: a) rocas *detríticas*, o fragmentarias, compuestas de partículas minerales producidas por la desintegración mecánica de otras rocas y transportadas por el agua, sin sufrir deterioro químico. Son llevadas hasta masas mayores de agua, donde se depositan en capas (por ejemplo en lutitas y arenisca); y b) rocas *sedimentarias químicas*, formadas por la sedimentación química de materiales que han estado disueltos durante su transporte; son ejemplo de este tipo de rocas el yeso, la anhidrita y las calizas.

Las **rocas metamórficas** son aquellas cuya composición y textura originales han sido alteradas por el calor y la presión como ocurre donde contactan/chocan las placas tectónicas. En ese choque las rocas se trituran y son calentadas por el magma a grandes profundidades. Estas rocas también contienen sílice cristalina en forma de cuarzo y durante el proceso de formación aumenta el tamaño de los cristales, formándose minerales nuevos. El cuarzo puede encontrarse en la roca original y cristalizar a partir de la sílice presente en las masas fundidas que penetran en la roca durante el metamorfismo, o puede originarse como parte de la transformación metamórfica <sup>(76)</sup>.

### 8.18 Arcillas

Las arcillas son un conjunto de filosilicatos (silicatos laminares) derivados de la descomposición de rocas de silicatos con un diámetro de partícula inferior a 0,002 mm (2  $\mu\text{m}$ ). Tienen estructura laminar por la disposición de su unidad tetraédrica  $\text{SiO}_4^{4-}$  en planos. Muchas de estas unidades, unidas entre sí al compartir tres de sus cuatro oxígenos, forman capas de extensión ilimitada. El anión  $\text{SiO}_4^{4-}$  tiende a formar enlaces iónicos con cationes metálicos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Zn}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) dispuestos entre planos y el silicio del tetraedro puede estar parcialmente sustituido por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . Asimismo, como en el caso de la *esmeclita*, entre las láminas pueden disponerse moléculas de agua, hidratando su estructura <sup>(77)</sup>.

Las arcillas más habituales son la *caolinita*, compuesta por una lámina de sílice y otra de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  en una proporción de 1:1; la *illita*, con dos láminas de sílice y una de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; y las *esmeclitas*, entre las que destaca la *montmorillonita*, con una proporción de sílice y  $\text{Al}(\text{OH})_3$  de 2:1.

Las finas partículas de arcilla forman barro cuando están saturadas de agua. En consecuencia, los suelos arcillosos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente, contienen buenas reservas de nutrientes y son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

Otra característica de las arcillas es que su área superficial específica (área de la superficie externa por unidad de masa expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ ) es muy elevada, por lo que pueden interaccionar con sustancias muy diversas, en especial con compuestos polares (solubles en agua). Por ello tienen un comportamiento plástico al mezclarse con agua y forman compuestos con una elevada proporción líquido/sólido. Valgan como ejemplo las siguientes superficies específicas de algunas arcillas: caolinita 3-15  $\text{m}^2/\text{g}$ ; illita 16-50  $\text{m}^2/\text{g}$ ; montmorillonita 80-300  $\text{m}^2/\text{g}$  y sepiolita 100-240  $\text{m}^2/\text{g}$ .

La carga negativa en las láminas de las arcillas facilita la entrada en el espacio interlaminar de cationes unidos débilmente y con un grado variable de hidratación. Esos cationes pueden ser intercambiados con facilidad cuando la arcilla se pone en contacto con una solución saturada en otros cationes (capacidad de intercambio catiónico -CIC-, base de aplicaciones agrícolas e industriales). La CIC está

relacionada con la fertilidad del suelo, ya que una elevada CIC implica una elevada capacidad de almacenar nutrientes y su pérdida por lavado o arrastre.

Asimismo, esa alta CIC, junto con su plasticidad y capacidad de *absorción* (retención por capilaridad) y *adsorción* (por interacción química entre la superficie del adsorbente y el fluido adsorbido) de agua u otras moléculas en el espacio interlaminar, como en las esmectitas, o en sus canales estructurales, como la sepiolita, son propiedades que confieren a la arcillas una gran utilidad industrial.

Además, los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos tienen cierta capacidad de intercambiar aniones con la solución del suelo, lo que se conoce como capacidad de intercambio aniónico (CIA). Así, por ejemplo, la caolinita puede presentar carga positiva en las zonas de rotura de la lámina cristalina, lo que permite la adsorción de aniones presentes en las soluciones acuosas del suelo. La adsorción de aniones como el  $\text{PO}_4^{3-}$ , el  $\text{SO}_4^{2-}$  y otros, puede afectar a la nutrición de las plantas.

#### 8.19 Lavas de los volcanes del Valle del Rift

Las lavas de los volcanes del Valle del Rift debieron enfriarse rápidamente y por ello son de tipo alcalino <sup>(78)</sup>. Son ricas en *fonolitas* (mezcla de feldespatos alcalinos y feldespatoideos) y *carbonatitas* (constituida en un 50% por carbonatos de aluminio, calcio, sodio o potasio, y un bajo contenido en sílice). La fusión de las rocas derivadas de esas lavas libera aluminio, sodio, potasio, calcio y otros metales como circonio, berilio, hierro y titanio. En la mezcla resultante, escasa en sílice, predominan los feldespatoideos básicos sobre el feldespato. Estos *feldespatoideos* son silicatos cristalizados a partir de un magma básico o ultrabásico cuando éste no contiene suficiente silicio para formar un feldespato con potasio, sodio, aluminio y estroncio.

A su vez, los *feldespatos* son un grupo de silicatos (con fórmula general  $\text{XZ}_4\text{O}_8$ , siendo **X**: Ba, Ca, K, Na,  $\text{NH}_4$  y Sr; y **Z**: Al, B y Si) que pueden describirse como un almacén de silicio y aluminio con álcalis y metales alcalinotérreos en los espacios vacíos.

Por su parte, las *carbonatitas* son un tipo de rocas (tanto intrusivas como volcánicas) que se encuentran casi únicamente en el valle del Rhin en Alemania y en el valle del Rift en África. Se definen porque, una vez cristalizadas, contienen más del 50% en forma de carbonatos minerales y menos de un 10% de SiO<sub>2</sub> y en su composición también se encuentran otros minerales como fluorita (fluoruro de calcio), magnetita (óxidos de hierro), barita (óxido de bario), apatito y olivino. La temperatura de erupción de las lavas ricas en carbonatitas (500-600° C), tanto con un alto contenido de sodio como las abundantes en calcio, es inferior a la de las lavas basálticas (>1.100 ° C) y una vez enfriadas reaccionan fácilmente con el agua de lluvia, liberando sodio y metales alcalinotérreos (Ca, Sr, Ba) y de transición (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn).

Tanto la sílice como los silicatos inhalados o penetrados a través de la piel, activan la producción por parte de los macrófagos de quimioquinas, citoquinas y especies reactantes de oxígeno que median la inflamación aguda y crónica.

Las arcillas del valle del Rift son arcillas rojizas derivadas de rocas volcánicas especialmente basálticas (ricas en silicatos de Mg y Fe) y escasas en sílice.

Por su posible influencia en la patogenia de la podocóniosis, conviene recordar las características y capacidad patogénica de la sílice, berilio, bario, circonio, torio, uranio y vanadio.

### 8.20 Patogenia de las lesiones producidas por sílice, bario, berilio, cinc, circonio, vanadio, uranio y torio

#### 8.20.1 Sílice

El suelo es la vía por la que se producen numerosas enfermedades en el hombre. Así, desde infecciones protozoarias como las amebiasis hasta bacterianas como el tétanos; desde la infestación por geohelminthos a la toxicidad de elementos ingeridos con la tierra; desde el linfedema no filariásico de la podocóniosis a las neoplasias relacionadas con la inhalación de minerales cristalinos o fibrosos; o por su interacción con la piel, la atmósfera, la biosfera y la hidrosfera por la erosión y volatilización de contaminantes orgánicos, el suelo es una fuente notable de

enfermedades. Si a ello añadimos que ciertos minerales y elementos potencialmente peligrosos pasan de la tierra a las plantas, y que de éstas son transferidos a los animales y el hombre a través de la cadena alimentaria, resulta evidente la influencia de la tierra en la salud humana <sup>(79)</sup>.

Circunscribiéndonos a las lesiones producidas por minerales, la sílice ( $\text{SiO}_2$ , densidad  $2,62 \text{ g/cm}^3$ ; dureza en la escala de Mohs 7; temperatura de fusión  $1.713^\circ \text{C}$ ; temperatura de ebullición  $2.230^\circ \text{C}$ ) cuando es inhalada, tanto en forma de sílice cristalina (presente en granito, cuarzo  $-\text{SiO}_2-$ , tridimita  $-\text{SiO}_2$  polimorfo- y cristobalita  $-\text{SiO}_2$  tetragonal-) como amorfa, daña los pulmones, siendo la silicosis el prototipo de neumoconiosis.

Los estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que la sílice inhalada interacciona por un lado con los macrófagos de los alvéolos pulmonares e induce la producción de especies reactivas de oxígeno; y, por otro, activa las células dendríticas y su emigración a los alvéolos pulmonares. A su vez, los macrófagos expresan receptores que reconocen y captan las partículas de sílice que son incluidas en los fagosomas, en cuyo interior los lisosomas vierten enzimas. A continuación se rompe la membrana del fagosoma y su contenido es derramado al citosol del macrófago, lo que conlleva la activación de NADPH y la generación de especies reactivas de oxígeno que activan la formación del complejo denominado “inflammasoma” <sup>(80-83)</sup>. Éste está compuesto por: a) la “proteína rica en leucina 3” (NALP3); b) la “proteína adaptadora intracelular ASC” (*apoptosis-associated speck-like containing recruitment domain*); y c) procaspasa 1. La NLAP3 unida a ASC activa la procaspasa 1, originando caspasa 1 que, a su vez, activa la secreción del factor de crecimiento fibroblástico 2 (FGF-2), así como el paso de pro-IL-1 $\beta$  a IL-1 $\beta$ , y de pro-IL-18 a IL-18. La conjunción de especies reactivas de oxígeno, FGF-2, interleuquinas I $\beta$  e IL-18, activa la inflamación y la fibrosis posterior.

Pero, al penetrar a través de erosiones o heridas, la sílice también puede producir lesiones granulomatosas debido a un mecanismo patogénico similar, mediado por la producción por los macrófagos de especies reactivas de oxígeno, quimioquinas y citoquinas mediadoras de la inflamación <sup>(84)</sup>.

### 8.20.2 Bario

El bario (Ba; número atómico 56; peso atómico 137,4 Da; densidad 3,5 g/cm<sup>3</sup>; dureza en la escala de Mohs 1,25; temperatura de fusión 727° C; temperatura de ebullición 1.845° C) es un metal alcalinotérreo cuyos minerales más abundantes son el sulfato (barita, BaSO<sub>4</sub>) y el carbonato (witherita, BaCO<sub>3</sub>). La barita por su baja toxicidad, alta densidad (4,5 g/cm<sup>3</sup>), nula absorción por el intestino y radiopacidad a los rayos X, se emplea como contraste radiológico en el tubo digestivo (“papilla de bario”). El Ba se oxida con mucha facilidad cuando se expone al aire y es muy reactivo con el agua, quemándose con el aire o el oxígeno, produciendo óxido (BaO), peróxido de bario (BaO<sub>2</sub>) e hidrógeno. Esa alta reactividad hace que no se encuentre libre en la naturaleza.

En forma de nanopartículas, el bario se utiliza en la industria química para la obtención de epóxidos, así como iniciador de reacciones de oxidación, reacciones de endurecimiento de poliésteres, producción de estabilizadores de PVC o en la fabricación de glicerol. Se emplea en odontología para blanquear los dientes en forma de gel o en bandas impregnadas de peróxido de bario al 16%. A su vez, el óxido se utiliza para recubrir los electrodos en las lámparas fluorescentes, y el peróxido como catalizador en la reacción aluminotérmica; asimismo, en la industria alimentaria se usa para medir la calidad y enranciamiento de aceites y grasas, mediante la determinación del índice de peroxidación, uno de los más habituales para rechazar la comercialización de los alimentos <sup>(85)</sup>.

Los compuestos solubles de bario (cloruro, nitrato, hidróxido) son muy tóxicos. La inhalación de los insolubles como el sulfato puede producir neumoconiosis y otras sales de bario, como el sulfuro, el óxido, el hidróxido y el carbonato, pueden causar irritación local en ojos, nariz, garganta y quemaduras graves en la piel. Ciertos compuestos, en especial el peróxido, el nitrato y el clorato, presentan peligro de incendio durante su uso y almacenaje.

### 8.20.3 Berilio

Estructuralmente, el Be es un metal alcalinotérreo (número atómico 4, peso atómico 9,0 Da; dureza en la escala de Mohs 5,5; densidad 1,85 g/cm<sup>3</sup>) con altos

puntos de fusión (1.280 °C) y ebullición (2.970 °C). Es abrasivo, ligero (dos veces más liviano que el aluminio y sólo 1,85 veces más pesado que el agua), resistente a los ácidos y tiene una alta conductividad térmica. Estas propiedades hacen que sea útil en forma de aleaciones (con cobre, aluminio y hierro) o como óxido de berilio (BeO). Así, el BeO es utilizado en telecomunicaciones, informática, circuitos eléctricos, disipadores de calor, aislantes eléctricos, hornos de microondas, blindaje de vehículos, toberas de cohetes, crisoles, combustibles de reactores nucleares, componentes estructurales de láser, sistemas de encendido de automóviles, así como un aditivo para vidrio, cerámica y plásticos.

El hidróxido de berilio -Be(OH)<sub>2</sub>- es la base para la producción del berilo, óxido de berilio y aleaciones del mismo. De sus isótopos, el Be-9 es el único estable. El Be-10 se produce en la atmósfera al ser bombardeados el oxígeno y el nitrógeno por las radiaciones cósmicas. Ese berilio atmosférico, inestable, es arrastrado por el agua de lluvia (cuyo pH suele ser inferior a 5,5, al cual el Be es estable). Una vez en la Tierra, la solución se vuelve alcalina precipitando el Be-9 que permanece en el suelo con un período de semidesintegración de 1,5 millones de años <sup>(86)</sup>. Por su estructura, además de combinarse con metales, este elemento forma con facilidad compuestos con agua [Be (OH)<sub>2</sub>]<sub>4</sub><sup>2+</sup> y con amoníaco [Be (NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>.

El Be es uno de los elementos más tóxicos de la tabla periódica. Tiene un alto poder patógeno ya que, como otros metales, puede desencadenar reacciones de hipersensibilidad a través del contacto con la piel, la inhalación o por implantes corporales que los contengan. Los iones metálicos se comportan como haptenos que se unen a la superficie del complejo del sistema mayor de histocompatibilidad (SMH). Ello modifica la superficie del SMH y dispara la respuesta inmune mediada por células T. Las moléculas de los HLA-DR52c y HLA-DP2 reconocen la estructura de los metales y median el ulterior reconocimiento y ataque por las células T.

La principal vía de exposición a los compuestos de Be es la inhalatoria. Así puede causar una neumonitis química aguda inmediata (una reacción inflamatoria del tracto respiratorio desde la cavidad nasal hasta los alvéolos pulmonares) frecuente en mineros; este cuadro suele remitir al cabo de semanas o meses, aunque en casos de exposición alta puede ser fulminante; además de ser carcinógeno, provoca en el

15-20% de los casos beriliosis, enfermedad pulmonar granulomatosa crónica mediada por linfocitos T y citoquinas como TNF- $\alpha$  e IL-2.

Asimismo, la exposición por vía oral y transdérmica también tiene trascendencia, ya que aunque por esas vías sólo se absorbe el 1% del berilio metálico, en presencia de sales solubles o de erosiones cutáneas, la absorción puede ser mucho mayor.

Una vez absorbido, el Be circula combinado con prealbúmina y globulinas, acumulándose en músculo y hueso, o en pulmón cuando es inhalado. Se elimina por orina en pequeñas cantidades directamente proporcionales a las dosis de exposición. Su vida media de eliminación en ratas oscila entre 1-60 días y 0,6-2,3 años, según la vía de administración y el compuesto. Por ejemplo, los sulfatos se eliminan más rápidamente que los óxidos y en el mismo BeO también hay diferencia entre si ha sido calcinado a 500 o a 1000° C. La vida media en humanos debe ser mayor, ya que se han encontrado depósitos de Be en pulmones de trabajadores expuestos muchos años después de cesar la exposición.

Los efectos tóxicos habituales de la exposición cutánea a compuestos solubles de berilio son: conjuntivitis y dermatitis pápulo-vesicular, que a veces se puede confundir con una respuesta inflamatoria alérgica. Si en vez de un contacto superficial se acumula en la dermis, se originan lesiones granulomatosas alrededor del infiltrado que pueden dar lugar a lesiones ulceradas o necróticas. En ciertos casos también puede causar una reacción cutánea de hipersensibilidad tipo IV (retardada y mediada por células).

Como en otros casos de sensibilización, la respuesta immune frente a sensibilizantes químicos iniciada en la piel, madura en los ganglios linfáticos regionales que liberan células T específicas de haptenos en sangre periférica. Así, en modelos experimentales en ratones, se ha observado que la aplicación de berilio causa una sensibilización específica documentada en sangre periférica y ganglios linfáticos mediante pruebas de proliferación de linfocitos y por cambios en los marcadores de activación de células T con aumento en la expresión de CD44 e inhibición de la expresión de células T-CD62L. Además, tras la aplicación cutánea de berilio se produce una inflamación precoz y persistente, seguida de aumento del



volumen de la oreja del ratón, lo que indica una respuesta inmune mediada por células tras la aplicación tópica <sup>(87-90)</sup>.

#### 8.20.4 Cinc

El cinc, o zinc (número atómico 30, peso atómico 65,37 Da; densidad 7,14 g/cm<sup>3</sup>; dureza en la escala de Mohs 2,5; temperatura de fusión 419° C; temperatura de ebullición 906° C) es un metal de transición escaso en la corteza terrestre (ocupa el lugar vigesimoquinto) con una concentración de 2 a 5 x 10<sup>-4</sup> µg/g. Los minerales de los que se extrae son la blenda (sulfuro de cinc, ZnS), la calamina (carbonato de cinc, ZnCO<sub>3</sub>); hemimorfita [silicato hidratado de cinc, Zn<sub>4</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)(OH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O] y franklinita (óxido de cinc, ZnO). Sus principales aleaciones son el latón (con cobre) y la alpaca (cinc, cobre y níquel) <sup>(91, 92)</sup>.

Este metal es esencial para el desarrollo del sistema nervioso y la función del sistema inmune. Forma parte de la estructura de las vesículas sinápticas; de proteínas como la insulina y las llamadas “proteínas ligadoras de calcio”; y de enzimas como la superóxido dismutasa. Además es cofactor de unas cien enzimas que intervienen en las rutas metabólicas de proteínas, ácidos nucleicos, hormonas sexuales, fosfatasa alcalina, anhidrasa carbónica o la aromatas catalizadora del paso de andrógenos a estrógenos.

Su principal aplicación es el galvanizado del acero (~ el 50 % del consumo anual) para protegerlo de la corrosión. Igualmente, por su óptimo rendimiento por unidad de peso, también se utiliza en las baterías de Zn-óxido de plata usadas en los misiles y cápsulas espaciales; en baterías Zn-aire para ordenadores; piezas de fundición inyectada en la industria de automoción y en la fabricación de pinturas al óleo (color blanco de cinc para crear transparencias). Se utiliza en ungüentos de óxido de cinc, pomadas para la dermatitis del pañal, pomadas para hemorroides y protectores solares.

Aunque el óxido de cinc es citotóxico por vía inhalatoria, no está demostrado que ninguna de sus sales lo sea por vía cutánea <sup>(93)</sup>.

### 8.20.5 Circonio

El circonio (Zr; número atómico 40; peso atómico 91,2 Da; dureza en la escala de Mohs 6; densidad 5,68 g/cm<sup>3</sup>; punto de fusión 1.855° C; punto de ebullición 4.300° C) es un metal de transición con propiedades químicas semejantes al titanio. Es muy resistente a la corrosión y por su elevado punto de fusión se utiliza en placas cerámicas para la protección de naves espaciales. Es ubicuo en la corteza terrestre, tanto en las rocas ígneas como en las metamórficas y sedimentarias, así como en la mayoría de las arenas. Con frecuencia se encuentra junto a pequeñas cantidades de uranio y torio. En forma de silicato (ZrSiO<sub>4</sub>) tiene una dureza de 7,5 en la escala de Mohs y el tamaño de sus cristales en las rocas graníticas es muy pequeño (0,1-0,3 mm). Sin embargo, en las pegmatitas y carbonatitas, pueden alcanzar varios centímetros <sup>(94)</sup>. También se encuentra en varios derivados inorgánicos y organometálicos como el dióxido (ZrO<sub>2</sub>) y el bicloruro de circonilo (Cl<sub>2</sub>ZrO), presentes en algunas arcillas.

El ZrO<sub>2</sub> tiene una resistencia muy alta a la fractura, por lo que se utiliza en la perforación de rocas y en el endurecimiento de metales.

La inhalación de circonio en polvo o en aerosol produce granulomas pulmonares y el contacto con los ojos causa una grave conjuntivitis <sup>(95, 96)</sup>.

En los piroxenos (silicatos presentes en muchas rocas ígneas y metamórficas) de ciertas rocas félsicas de Groenlandia <sup>(97)</sup>, Nueva Gales del Sur <sup>(98)</sup> y Etiopía <sup>(99)</sup> se han encontrado cantidades notables de circonio formando parte de silicatos de hierro, manganeso y magnesio [Na(Fe<sub>2</sub><sup>+</sup>, Mn, Mg) Zr SiO<sub>2</sub>].

### 8.20.6 Torio

El torio (Th; número atómico 90; peso atómico 232 Da; dureza en la escala de Mohs 3; punto de fusión 2.028° C; punto de ebullición 5.061° C; densidad 11,27 g/cm<sup>3</sup>) es un metal de la serie de los actínidos presente en rocas volcánicas como dacitas y riolitas en forma de torianita (Th,U)O<sub>2</sub> y torita (ThSiO<sub>4</sub>), a menudo acompañando al uranio <sup>(100)</sup>. A medida que las rocas son fraccionadas por los

agentes atmosféricos, el torio y los demás componentes de las rocas pasan a los suelos y son arrastrados a ríos y lagos.

La concentración del Th en los suelos volcánicos es de 4-6 ppm (=  $\mu\text{g/g}$ ). Más del 99% de este metal presente en la naturaleza es Th-232 que emite mínimas cantidades de partículas  $\alpha$  dando lugar al denominado “producto de decaimiento” que es inestable. Éste continúa degradándose muy lentamente (su período de semidesintegración es  $1,4 \times 10^{13}$ , catorce billones, de años) formando elementos intermedios como radón y radio, radiactivos por emitir partículas  $\alpha$ ,  $\beta$  y, en especial,  $\gamma$ . Cuando el Th-232 es bombardeado con neutrones lentos (térmicos) se convierte en protoactinio 233, que se desintegra rápidamente en U-233 <sup>(100)</sup>. La toxicidad del torio es similar a la del uranio <sup>(101)</sup>.

#### 8.20.7 Uranio

El uranio (U; número atómico 92; peso atómico 238 Da; punto de fusión  $1.133^\circ\text{C}$ ; punto de ebullición  $3.500^\circ\text{C}$ ; densidad  $18,97\text{ g/cm}^3$ , superior a la del plomo  $11,3\text{ g/cm}^3$ ) es un metal de la serie de los actínidos. Se encuentra en la naturaleza fundamentalmente como U-238 (99,27%), U-235 (0,71%) y una minúscula proporción como U-234 (0,0050–0,0059%). El U-238 también es conocido como “uranio empobrecido”. Puede encontrarse en pequeñas cantidades en todas las rocas (*carnotita*, vanadato de uranilo y potasio; *pechblenda*, óxido de uranio), suelos y aguas, y su concentración media en la corteza terrestre oscila entre 2 y 4 ppm. Salvo con los gases nobles, reacciona con casi todos los elementos no metálicos y sus micropartículas lo hacen incluso con el agua fría <sup>(102)</sup>.

Las plantas lo absorben del suelo; su concentración en ellas en peso seco oscila entre 5 y 60  $\mu\text{g/kg}$  (partes por billón) y en las cenizas resultantes de la combustión puede alcanzar las 4 ppm.

El uranio es un elemento débilmente radiactivo ya que sus isótopos son inestables al emitir radiación  $\alpha$ . El U-238 sufre su fisión cuando es bombardeado con neutrones de alta energía, transmutándose en plutonio 239. Otro de sus isótopos, el U-233, es importante en la tecnología nuclear y puede producirse a partir del torio-232 presente en la naturaleza <sup>(103)</sup>. Mientras que es muy poco probable que el U-238

sufra fisión espontánea, incluso tras el bombardeo con neutrones de alta energía, el U-235 y en menor medida el U-233, se fisionan mucho más fácilmente incluso con neutrones lentos. Por ello, una proporción suficiente de estos últimos isótopos puede mantener una reacción nuclear en cadena productora de una enorme cantidad de calor, fundamento de su uso en reactores y armas nucleares. Además de encefalotóxico y nefrotóxico, tanto por vía inhalatoria como oral o cutánea, el uranio empobrecido es teratógeno y cancerígeno <sup>(104-106)</sup>.

### 8.20.8 Vanadio

En algunas áreas con elevada prevalencia de podoconiosis se han encontrado tasas significativamente altas de vanadio, por lo que conviene recordar algunas características de este metal de transición. Con número atómico 23; peso atómico 50,9 Da; punto de fusión 1.910° C y punto de ebullición 3.407° C; dureza en la escala de Mohs 7; y densidad 6,0 g/cm<sup>3</sup>, este elemento sólo se encuentra en la naturaleza combinado con otros elementos. Así, en la corteza terrestre se encuentra en la *magnetita* [V (Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub> O<sub>4</sub>] presente en el gabro, roca volcánica ultramáfica, *patronita* (sulfuro de vanadio, VS<sub>4</sub>), *vanidita* [Pb<sub>5</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl] y *carnotita* [K<sub>2</sub>(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O], que constituyen sus fuentes industriales más importantes para la aleación con acero, hierro y cromo. E, igualmente, en el mar forma parte del centro activo de enzimas como la vanadio-bromoperoxidasa de algunas algas <sup>(107,108)</sup>.

Se considera que todas las sales de vanadio son potencialmente tóxicas, sobre todo como pentóxido de vanadio (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Aunque sus compuestos se absorben mal por tubo digestivo, la inhalación parece incrementar el riesgo de carcinoma de pulmón en ratas y la *Occupational Safety and Health Administration* de EEUU ha establecido un límite de exposición laboral al polvo de pentóxido de vanadio de 0,05 mg/m<sup>3</sup> y de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para los vapores de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No se ha descrito que cause lesiones cutáneas, pero los minerales que lo contienen junto con uranio sí pueden ser teratógenos <sup>(109)</sup>.

## 9 Patogenia, clínica y genética de la podoconiosis

Se calcula que en Etiopía hay más de un millón de personas afectadas por esta enfermedad <sup>(30)</sup>. La altitud sobre el nivel del mar superior a los 1.000 metros y el agua de lluvia (más de 1.000 mm al año), contribuyen a la desintegración constante de los componentes minerales de la lava volcánica en arcillas con alto contenido en silicatos y metales alcalinotérreos y de transición. Las micro y nanopartículas de silicatos como el *cuarzo* (sílice, anhídrido silícico), *illita* (silicato hidratado de hierro, aluminio, magnesio y potasio), *caolinita* (disilicato aluminico dihidratado) y diferentes *esmeclitas* (silicatos de hierro, calcio, magnesio y aluminio) con un diámetro inferior a 2 µm, son activos biológicamente, favoreciendo la infección de las pequeñas erosiones en la piel producidas, por ejemplo, al caminar descalzos. Así, concretamente, se ha comprobado que micro y nanopartículas de *montmorillonita* (silicato aluminico-magnésico hidratado) potencian más la infección cutánea que la *caolinita* o la *illita* (ferrosilicato aluminico magnésico hidratado) <sup>(110 – 113)</sup>. A ello debe añadirse que tanto el berilio como el circonio <sup>(114)</sup> favorecen la formación de granulomas y que, aunque en mínima proporción, el berilio suele acompañar al aluminio en arcillas y bauxitas.

Al estudiar los ganglios linfáticos de las piernas de los pacientes se han encontrado macrófagos cargados de partículas de sílice, aluminio, hierro y magnesio, minerales presentes en las arcillas que pisan a diario descalzos al cultivar la tierra o al caminar <sup>(32)</sup>. Esas partículas, junto con la predisposición genética, coinfecciones y quizá también la desnutrición, se considera que son los factores patogénicos de la podoconiosis.

Aunque no se dispone de un modelo experimental en animales para reproducir esta enfermedad, sí se ha observado que la inyección de suspensiones de partículas de cuarzo en vasos linfáticos del conejo se sigue de una intensa proliferación de macrófagos en las paredes y el interior de los vasos, seguida de su fibrosis y obstrucción. Las partículas minerales, al penetrar a través de la piel, son captadas por los macrófagos en los linfáticos de pies y piernas, causando edema subendotelial, endolinfangitis y, eventualmente, fibrosis (colagenización) y obliteración de la luz de esos vasos.

Como ocurre en otros casos de linfedema crónico, la dilatación y remansamiento linfático impide el flujo de linfocitos y células de Langerhans desde la piel hasta los ganglios linfáticos, lo que dificulta el aclaramiento de los antígenos extraños y facilita la inflamación crónica. Así se acumulan queratinocitos, adipocitos y fibroblastos, transformando el edema tisular inicialmente blando en una masa fibrosa y dura, y la piel se vuelve hiperqueratósica, engrosada y rígida.

En estos pacientes se ha observado que, tras la erosión de la piel, en una primera etapa los vasos linfáticos aferentes a los ganglios están dilatados y rodeados de linfocitos para, seguidamente producirse colágeno amorfo con fibrosis, disminución o anulación de su calibre y edema secundario. Si predomina el edema, las paredes de los linfáticos aferentes se vuelven rígidos y se dilatan, con la consiguiente alteración valvular. Y cuando predomina la fibrosis, tanto la dermis como la hipodermis se adhieren a la fascia profunda subyacente, pudiendo destruir las glándulas sudoríparas y sebáceas así como los folículos pilosos.

Al estudiar los marcadores biológicos del estrés oxidativo (peroxidasas, “capacidad antioxidante total”, óxido nítrico, malonaldehído y actividad de superóxido dismutasa), se ha comprobado que los pacientes en los estadios iniciales de la enfermedad tienen concentraciones de esos marcadores y un índice de estrés oxidativo superiores a los observados en los controles sanos. A la vez, las concentraciones de superóxido dismutasa y de TGF- $\beta$  son significativamente menores que en los controles y la capacidad antioxidante total es aún menor en estadios avanzados de la enfermedad. Es decir, se produciría un fenómeno similar al observado en los modelos experimentales de neumoconiosis inducida por sílice: la fagocitosis de estas partículas por parte de los macrófagos activa la producción por éstos de quimioquinas, citoquinas, especies reactivas de oxígeno y otros mediadores de la inflamación <sup>(6, 117- 119)</sup>.

Clínicamente, antes de desarrollar edema y elefantiasis de las piernas, los pacientes suelen pasar por una fase de prurito y sensación de quemazón en la parte anterior de los pies y tercio distal de las piernas, junto con edema plantar con trasudación de linfa e hiperqueratosis regional. La hiperqueratosis se sigue de la formación de papilomas similares al musgo con una distribución en zapatilla

alrededor del talón y dorso del pie (siguiendo la distribución de los vasos linfáticos superficiales) y rigidez de los dedos de los pies. Más adelante aparece edema habitualmente blando (como un “globo lleno de agua”) y asimétrico, aunque desde el comienzo puede ser fibroso y firme, como “piel curtida” o goma de borrar, o incluso como “tabla de madera”. Ese edema suele ir acompañado de nódulos cutáneos firmes y se produce una media de cinco episodios de agudización al año, con fiebre, calor y dolor local por adenitis y linfangitis aguda que obligan a guardar reposo durante una semana <sup>(120)</sup>.

En Etiopía hay regiones en las que padece podoconiosis hasta un cinco por ciento de la población. Aunque esta enfermedad sólo se observa en los expuestos a suelos irritantes con arcillas rojas, no todos la sufren, lo que ya llevó a Price en 1972 a sospechar la existencia de factores individuales predisponentes <sup>(32)</sup>. Como también se encuentran partículas minerales similares en los vasos y ganglios linfáticos de personas no afectadas se deduce que, aunque el suelo es condición necesaria, no es suficiente para el desarrollo de la enfermedad. Así, se han observado racimos de varios casos en una misma familia y en pacientes con antecedentes familiares, habiéndose estimado que la herencia de la podoconiosis es del 63% y que ante un paciente afectado, la probabilidad de que un hermano la sufra es cinco veces mayor que en la población general <sup>(121)</sup>.

Ello se ha corroborado mediante estudios de HLA realizados en Wolaita (sur de Etiopía) encontrándose relación entre la podoconiosis y los alelos HLA-DRB1\*0701, DQB1\*0202 y el haplotipo HLA-DRB1\*0701-DQB1\*0202, lo que confirma la idea de que se trata de una enfermedad inflamatoria mediada por células T <sup>(122)</sup>.

## **10 Gambo. Misión de la Consolata y Hospital General Rural**

Gambo es un pueblo de unos 5.000 habitantes localizado en un altiplano de tierras arcillosas-volcánicas a 2.200 metros sobre el nivel del mar en la provincia de West Arsi. Se encuentra a 225 Km al sur de Addis Abeba y las ciudades más próximas

son Arsi Negele (a 18 Km) y Shashemane a unos 50 Km. La temperatura máxima es 28,6°C (mínima 8,4°C) y la estación de lluvias va de julio a septiembre, con un índice pluviométrico medio de 1.000 mm/año. El hospital más próximo se encuentra en Shashemane, al que se llega por una pista forestal de tierra arcillosa que se embarra en la época de lluvias.

Puede decirse que Gambo vive alrededor de la Misión y su Hospital General Rural. La Misión fue fundada en 1922 por monjes capuchinos franceses y desde 1972 es sostenida por la Orden italiana de Misioneros y Misioneras de la Consolata, fundada en 1901 por el R. P. Giuseppe Allamano\* (1851-1926). El idioma local es el *oromigna* y el 60% de la población es de religión musulmana; algo menos del 40% son cristianos ortodoxos y católicos alrededor del 1%. Se calcula que las dos terceras partes de la población son analfabetas. La poligamia es habitual y la mujer está subordinada al hombre, cumpliendo poco más que una misión reproductora. La forma de vida es agrícola (cereales y productos hortícolas) y ganadera (aviar, bovina, equina y ovina), llamando la atención lo depauperado de la cabaña animal.

La Misión de Gambo lleva a cabo una extraordinaria labor educativa, social, espiritual y sanitaria. Comprende: a) el Hospital General Rural con 135 camas; b) leprosería; c) una escuela de mujeres y tres escuelas infantiles en los kebeles de Basako, Kalo y Alamgana dirigidas por las Hermanas de la Consolata; d) granja de unas 40 hectáreas de cultivo, con huerta, algunas vacas y gallinas, en la que se producen hortalizas, huevos, leche y carne para la alimentación de los niños de Gambo, los ingresados en el Hospital y el personal de la Misión; e) capilla; f) un edificio principal de cocina, comedor y alojamiento individual; g) otro edificio donde se alojan los Hermanos y Padres de la Consolata, adyacente al cual hay otro para las Hermanas de la Consolata; h) la iglesia de Gambo, el salón parroquial y la oficina del párroco de la Misión de Gambo; i) dependencia para los equipos de mantenimiento de la Misión; j) edificios para el personal del Hospital de Gambo; y k) un recinto adyacente con edificios para alojamiento de voluntarios y visitantes.

Con 175 profesionales entre médicos, enfermeras y personal auxiliar, el Hospital atiende diariamente a unas 300 personas (unos 100.000 pacientes al año) y anualmente revisa a unos tres mil, aunque en la mayoría de los casos es muy difícil programar las fechas por la dimensión peculiar que posee el tiempo para los



habitantes de la región. En 2015 archivaba unas cien mil historias clínicas de pacientes de los distritos de Arsi Negele y Kore. El ingreso durante una semana en el Hospital cuesta unos 18 euros y a partir del octavo día unos 80 céntimos diarios, cantidades que la mayoría de los pacientes no pueden pagar y que no se les reclama. (El sueldo medio de un maestro de Enseñanza Primaria es 70 euros al mes).

La tuberculosis, con una prevalencia global en Etiopía de 260 casos cada cien mil habitantes, es la tercera causa de muerte en adultos y constituye un problema importante en la región.

El Director actual de la Misión es el Padre Óscar Clavijo, y el Director Médico del Hospital es el español D. Francisco Reyes (MD, PhD, LSHTM).

La Misión y el Hospital reciben frecuentes visitas de médicos, enfermeras, voluntarios y cooperantes procedentes de todo el mundo, principalmente de Italia, Canadá, Holanda y España. Así, desde 2004, dentro del Curso de Medicina Tropical organizado por la Universidad Autónoma de Madrid y dirigido por el Dr. Miguel Górgolas (MD, PhD, LSHTM), los alumnos realizan prácticas en dicho Hospital durante períodos de dos semanas.

a)



b)



c)



Figura 19. a) Entrada al hospital; b) sala de hospitalización de pediatría; c) sala de espera de las consultas



Figura 20. a) Escuela de de Gambo; b) niños en la escuela; c) un maestro en plena labor



**OBJETIVOS**

---



## **OBJETIVOS**

### **1 Objetivo principal**

Conocer las características clínicas y epidemiológicas de la podoconiosis, sus causas y las características mineralógicas del terreno en Gambo, una zona rural de la provincia de West Arsi (Etiopía).

### **2 Objetivos secundarios**

1. Valorar la eficacia de una estrategia de tratamiento después de un año y analizar las posibles causas de la dificultad de seguimiento
2. Detallar la cartografía del área explorada y la distribución de los casos.
3. Analizar los factores predictores de padecer podoconiosis.
4. Conocer las características mineralógicas del terreno relacionadas directamente con la podoconiosis.
5. Estudiar las características de las aguas y su papel como vehículo de minerales y elementos traza.
6. Estudiar la histología de la piel de los pacientes y tratar de demostrar en dos biopsias la absorción cutánea de los minerales y elementos traza del suelo.
7. Estudiar la prevalencia y características de las dermatofitosis en pacientes con podoconiosis.





## **PACIENTES, MATERIAL Y MÉTODOS**



## PACIENTES, MATERIAL Y MÉTODOS

### 1 Serie clínica

#### 1.1 Definición de caso y estadios de la podoconiosis

Se consideró *caso* todo aquel paciente con linfedema crónico de miembros inferiores que poseyera el antecedente epidemiológico de vivir en el área explorada y que además cumpliera los siguientes criterios:

- a) sensibilidad conservada en miembros inferiores;
- b) no tener un diagnóstico previo de lepra;
- c) ausencia de valvulopatía por auscultación (auscultación cardíaca normal);
- d) ausencia de datos semiológicos de insuficiencia cardíaca;
- e) ausencia de signos de insuficiencia venosa crónica; y
- f) ausencia de adenopatías inguinales que comprometieran el retorno venoso o linfático de los miembros inferiores.

Una vez encontrado cada caso fue clasificado según los estadios de Tekola <sup>(123)</sup>:

- Estadio 1. El edema, generalmente confinado por debajo del tobillo, es reversible durante la noche.
- Estadio 2. Edema por debajo de la rodilla que no es reversible durante la noche. Si hubiera 'nódulos' o 'bultos', estos se localizan por debajo del tobillo.
- Estadio 3. Edema por debajo de la rodilla, no reversible durante la noche. Los nódulos o 'bultos' se encuentran por encima y/o por debajo del tobillo.
- Estadio 4. Edema por encima de la rodilla e irreversible por la noche. Los nódulos se pueden encontrar en cualquier localización.
- Estadio 5. El edema puede localizarse en cualquier punto del pie o la pierna y ya existe anquilosis de las articulaciones del tobillo o de los dedos de los pies con imposibilidad para la flexión o la extensión. Puede haber fusión de los espacios interdigitales dando un aspecto acortado de los dedos o incluso dificultad para distinguir dónde acaba un dedo y empieza otro.

## 1.2 Búsqueda activa de casos

En un medio donde no hay consciencia de la necesidad de consultar por determinados problemas en el hospital, es una tarea compleja hacer un estudio sobre lo que se supone una enfermedad prevalente en esta región. Por este motivo, dada la escasa afluencia espontánea de pacientes con podoconiosis al Hospital General Rural de Gambo, se procedió a la búsqueda activa de casos en un *kebele* en el distrito de Kore-Gambo, y cinco *kebeles* próximos en el distrito de Arsi Negele: Basaku Ilala, Ashoka, Lephis, Gambelto y Bombaso Reji.

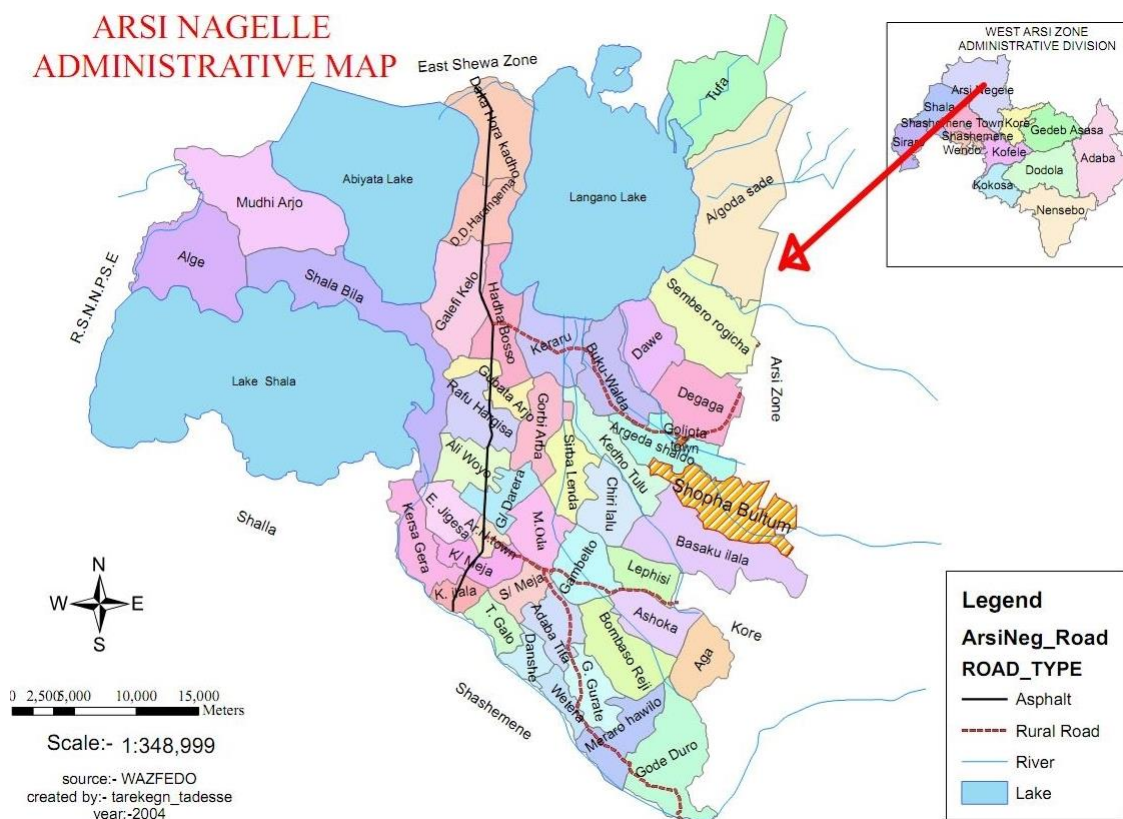


Figura 21. Mapa del área administrativa de Arsi Negele. Facilitado por el Ayuntamiento de Arsi Negele.

En consecuencia, procedimos a buscarlos activamente en su domicilio o entorno, pudiendo diagnosticar así un total de 106 casos al cabo de cinco meses. Los desplazamientos se hicieron habitualmente a pie, en ocasiones a caballo o en burro, o bien en 'gaarii' (carro tirado por esos animales), y sólo excepcionalmente en autobús o un coche facilitado por la Misión de Gambo.

En los seis poblados recorridos en un radio de unos 20 Km, agrupamos a sus habitantes con la colaboración del líder local, nos dirigimos a un total de aproximadamente mil personas de todas las edades, que nos escucharon con atención, y visitamos ciento noventa y dos chozas en cuyo interior examinamos a los afectados de podoconiosis.

Con ayuda de un intérprete local conocedor del amhárico y el orómico, rastreamos los *kebeles* próximos preguntando a los lugareños si sabían de algún caso entre sus amigos, familiares, vecinos o conocidos. Una vez identificado un caso, nos dirigíamos a su casa (habitualmente una choza de suelo de tierra) y realizábamos una historia clínica básica con anamnesis acerca de sus síntomas y les informamos detenidamente sobre las causas de esa enfermedad y la importancia del calzado y la higiene de los pies para prevenirla. Respondimos a sus preguntas, les insistimos en descartar las ideas erróneas sobre su etiología, nos aseguramos de que comprendían la información que les dábamos y, asumiendo lo limitado de los resultados de nuestra labor, sobre esa serie de 106 pacientes hicimos el trabajo.



Fig. 22. En busca de casos. Suelo arcilloso. Mujeres descalzas cargando leña.

Se marcaron las coordenadas de los puntos recorridos mediante *Global Positioning System* (GPS), de tal manera que posteriormente pudieran ser identificados los caminos y lugares donde se recogieron muestras para su análisis.

### 1.3 Datos recogidos de los pacientes

Además de las características clínicas de cada paciente, intentamos conocer sus características epidemiológicas, incluyendo la forma de vida de la población, sus costumbres, creencias y fuentes de ingresos. Para ello, se realizó un cuestionario sencillo, basado en el *Podoconiosis mapping study questionnaire. Demographic and Socioeconomic information* elaborado por Kebede Deribe y Gail Davey en la Facultad de Salud Pública de la Universidad de Addis Abeba en 2011 [Anexo 1].

En cada caso, se recogieron las siguientes variables: - edad; - sexo; - estado civil; - *kebele* (poblado); - *woreda* (comarca); - profesión; - número de familiares afectados; - años aproximados de evolución de la enfermedad; - tiempo aproximado (en años) que el paciente caminó o llevaba caminando descalzo; - estadio clínico; - tiempo que ha vivido en su lugar de residencia actual; - alfabetización; - escolarización y en caso afirmativo hasta qué curso; - grupo étnico; - tipo de suelo en la casa / choza; - localización y altitud sobre el nivel del mar de su hogar por GPS; - edad a la que se obtuvo calzado por primera vez; - tipo de calzado que el paciente llevaba en el momento de la entrevista; -cuándo / cuántas horas al día usaba el calzado en la época de la entrevista; - tiempo en minutos hasta la fuente de agua más cercana; - frecuencia en el lavado de los pies; -frecuencia en el lavado concienzudo de los pies hasta que quedaran bien limpios; -cardiopatía diagnosticada; - afectación inguinal; - diagnóstico previo de lepra; -sensibilidad en los dedos y plantas de los pies; - creencia personal sobre cómo se contrae la enfermedad; y - por qué no se consultó previamente por este motivo en el hospital.

Todos los datos fueron registrados en una tabla de Microsoft Excel 2010.

### 1.4 Consentimiento informado. Tratamiento y seguimiento de los pacientes

Dada la elevada tasa de analfabetismo, el consentimiento informado para la recogida de datos se hizo de forma verbal. A todos los pacientes se les explicó el objetivo de nuestro trabajo. En cuanto a la toma de biopsias, para minimizar el riesgo de infección se realizaron bajo estrictas medidas de asepsia y se mantuvo ingresados a los pacientes biopsiados durante una semana en el hospital con lavado y cura diaria de las

heridas, no habiendo complicaciones de ningún tipo y con buena cicatrización de las mismas.

Los pacientes recibieron el tratamiento establecido para el linfedema crónico, según las pautas recomendadas por Sikorski *et al.*, e individualizándolas según las necesidades de cada caso <sup>(124)</sup>. Este tratamiento consta de los pasos siguientes: - higiene de los pies; -cuidado de la piel; -vendaje; -calcetines y calzado; -elevación y movimiento de los miembros, y -cirugía.

En cuanto al seguimiento, a todos los pacientes se les indicó el día que debían volver al Hospital para comprobar su evolución.

## **2 Estudio de suelos y aguas**

Se tomaron 31 muestras de suelos, recogidas según las normas de la *Standard Operating Procedure and quality Assurance Manual* (EPA, 1996) ([www.epa.gov/region04/sesd](http://www.epa.gov/region04/sesd)). Al tratarse de una población muy dispersa, fue necesario seleccionar una serie de puntos o lugares para que las muestras de suelos fueran representativas del área estudiada. Para ello, se tomaron muestras según las normas de geotecnia UNE 7371:1975 de la Asociación Española de Normas y Certificación (AENOR) en los lugares más transitados, es decir, caminos, proximidades de escuelas, zonas de cultivo y trabajo, suelos de las casas y puntos de agua de los kebeles más cercanos a Gambo (Lille, Bashako, Ashoka, Gambelto, Huluka y Bombaso), así como en los caminos que llevan hasta ellos, (ver tabla 20 más adelante, en resultados).

También se tomaron seis muestras diferentes de aguas y seis biopsias cutáneas (dos para el estudio de minerales y elementos traza y cuatro para su estudio histológico). Los análisis de tierras y aguas se llevaron a cabo en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), siguiendo las siguientes etapas:

### **2.1 Recepción y secado de las muestras de suelos**

A las muestras de suelo y de agua se le asignó una codificación específica. Una vez etiquetadas y, como paso previo a su análisis, las muestras de suelos fueron secadas a temperatura ambiente o en estufa a 40° C.



Figura 23. Detalle de estufa para secado de las muestras de suelo a 40 °C (IGME).

## 2.2 Preparación física de las muestras de suelos

Mediante un cuarteador se redujo la cantidad de cada muestra sin perder datos de su composición. Para analizar el grado de humedad, densidad, granulometría, cantidad de finos, porosidad y textura, se procedió en primer lugar al tamizado de la muestra mediante un cedazo metálico.

Una forma de medir los tamaños de las partículas es haciéndolas pasar por mallas o tamices de distintas aperturas o luz. Así, mediante una serie de tamices de diámetro de poro decreciente y utilizados de manera consecutiva se consigue fraccionar la muestra en submuestras de distintos tamaños de grano. La materia que queda retenida en cada tamiz tiene un tamaño de partícula comprendido entre el diámetro de su poro y el del tamiz inmediatamente superior. De este modo se facilita el análisis al acotarse los intervalos de tamaño de grano.

Ante partículas de pequeño tamaño, es muy complicado determinar su número en cada tamiz, por lo que se analiza la masa retenida en cada uno de ellos. Pesando lo retenido en cada tamiz se obtiene el porcentaje en peso de material para cada intervalo de tamaños. Existen tamices metálicos con mallas de aperturas cuadradas que van desde 125 mm hasta 40 micras de lado. La serie de tamices habitualmente utilizada es: 100 mm; 80 mm; 63 mm; 50 mm; 40; 25; 20; 12,5; 10; 6,3; 5; 2; 1,25; 0,40; 0,16 y 0,08 mm (80  $\mu\text{m}$ ) de apertura <sup>(125)</sup>. En nuestro caso, una vez secadas las muestras, se hizo la molienda a tamaño de análisis de una parte representativa de la fracción inferior a 4 mm.





Figura 24. Detalle de los cuarteadores y bandeja de secado.

### 2.3 Análisis de las propiedades físicas de los suelos

Se estudió el grado de humedad, densidad, granulometría, porosidad y textura de las tierras traídas desde Gambo. En esta etapa del análisis, en primer lugar la muestra fue tamizada para analizar la granulometría, los cálculos de la cantidad de finos y la determinación de la densidad de los suelos.



Figura 25. Detalle de los tratamientos físicos del suelo

### 2.4 Análisis granulométrico

Tras el tamizado, el análisis granulométrico automático de los suelos y concretamente de la fracción lutita (en la que las arenas son minoritarias) se realizó mediante un aparato SediGraph 5000. Este método se basa en dos fenómenos físicos como son la

sedimentación gravitacional y la absorción de rayos X de baja energía al pasar a través de una celda en la que se encuentra un sedimento en suspensión. La distribución del tamaño de las partículas se calcula utilizando el método de sedimentación.

Este aparato determina el diámetro esférico equivalente de las partículas que van desde 300 a 0,1  $\mu\text{m}$ . La intensidad de lectura es función de la concentración de partículas. Este método proporciona una curva granulométrica parcial y mediante un programa de ordenador se obtiene la distribución granulométrica total y los parámetros granulométricos convencionales.

Los datos obtenidos experimentalmente se presentan en una gráfica, pudiéndose apreciar el tamaño medio del sistema de partículas, la anchura de la distribución de tamaños y la forma de dicha distribución. De este modo, la comparación entre granulometrías de varios sistemas dispersos es inmediata. La representación más utilizada es en forma de histograma, representando los intervalos de tamaño en el eje de abscisas y el porcentaje de masa retenido por cada tamiz en el eje de ordenadas. De esta manera se representa la función de distribución fraccionaria en masas (fM).

## 2.5 Análisis físico-químico del suelo <sup>(126, 127)</sup>

Tras el cuarteamiento, las muestras se molieron en un mortero de aguata para reducir la fracción mineral a polvo. Una vez molidas, las muestras fueron enviadas a los laboratorios de química y de Rayos X.

### 2.5.1 **Espectrometría mediante fluorescencia por rayos X** <sup>(126, 127)</sup>

En primer lugar se realizó un fundente de la muestra del suelo para conseguir una perla a analizar mediante fluorescencia de rayos X. Con ella se determinaron cuantitativamente los elementos mayoritarios (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P)<sup>(7)</sup>.



Figura 26. Detalle de molienda (mortero de aguata).

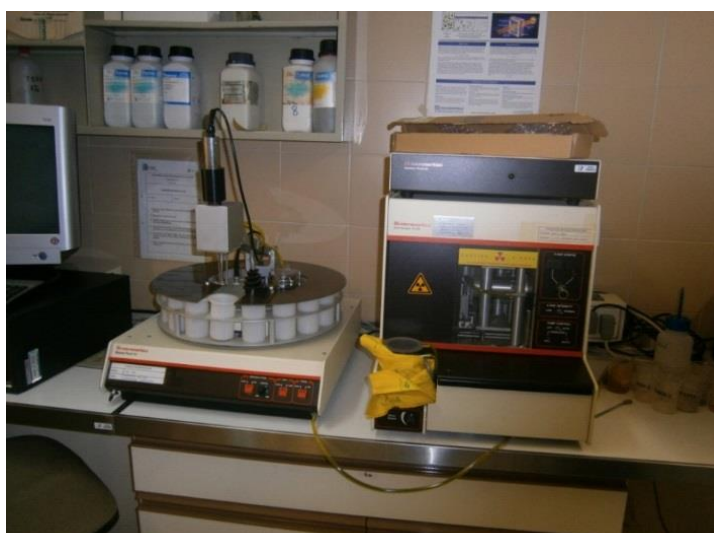


Figura 27. Determinación de las propiedades físicas de los suelos. (Granulometría)



Figura 28. Preparación de las muestras para su análisis por fluorescencia de rayos X

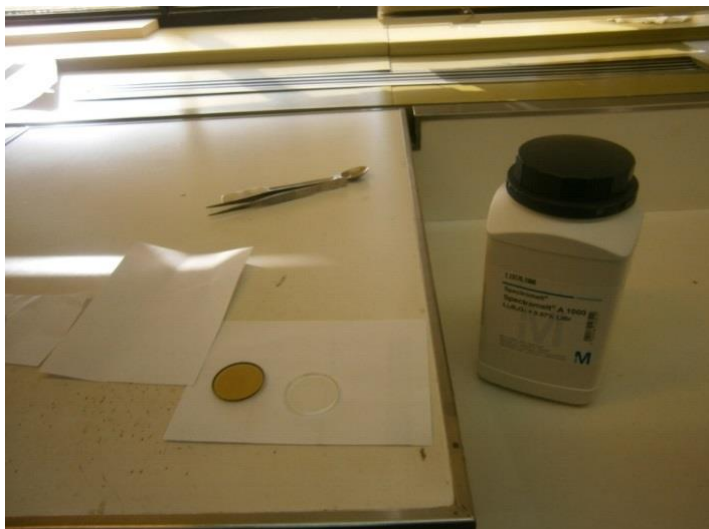


Figura 29. Perlas para el análisis de fluorescencia de rayos X

El análisis de los elementos mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) se lleva a cabo en la muestra fundida (perla). Las perlas se preparan mezclando un gramo de muestra en polvo con nueve gramos de mezcla fundente  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  -  $\text{LiBO}_2$  (50:50 wt%). La mezcla es vaciada entonces en un crisol de Pt / 5% Au y calentada a unos  $1.100^\circ\text{C}$  en un horno equipado. Antes del calentamiento se agregan dos gotas de LiBr en solución acuosa con una concentración de 250 g/l. (La solución de LiBr actúa como agente no-mojante, favoreciendo que la perla se desprege del molde durante el enfriado).

Como complemento del análisis de elementos mayores, se determina la “pérdida de muestra por calcinación” (PXC). Esta etapa se hace calentando, en un crisol de porcelana a  $1.000^\circ\text{C}$  durante una hora, un gramo de muestra en “base seca” y dejando enfriar lentamente hasta temperatura ambiente. Así se obtiene “el peso calcinado”.

### 2.5.2 Difracción por rayos X (DRX)

El análisis mineralógico de las muestras de suelo se realizó mediante la identificación de minerales por DRX de polvos <sup>(128)</sup>. Así se generó un informe del contenido semi-cuantitativo (porcentaje de arcillas) y de la mineralogía del suelo y su gráfico correspondiente.



Figura 30. Detalle de difracción por rayos X (DRX).

### 2.5.3 Digestión ácida secuencial de las muestras

En primer lugar, se pesó la cantidad de la muestra a analizar en una balanza de precisión. A continuación se realizó la digestión ácida secuencial de la misma y, por último, antes del análisis, se hicieron las diluciones de la muestra que fueron necesarias.

Casi todos los métodos para la determinación final de un elemento requieren la digestión previa de la muestra. La elección de esta técnica debe considerar el objetivo de la determinación final, pudiendo utilizarse en ocasiones procedimientos incompletos de digestión, que precisan menos tiempo y esfuerzo y permiten obtener resultados aceptables. Estos procedimientos no liberan metales pesados fuertemente unidos a los minerales y que, por lo tanto, no son biodisponibles. Los métodos de disolución aprovechan el poder solubilizador del ácido fluorhídrico (HF) sobre los minerales de la arcilla, junto con los ácidos nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), clorhídrico (HCl) y tetraoxoclórico ( $\text{HClO}_4$ ) por su capacidad de solubilizar los constituyentes orgánicos de los suelos <sup>(129)</sup>. Dado que algunas arcillas no se disuelven del todo con HF, éste se aplica conjuntamente con los otros ácidos para la solubilización completa de una muestra de suelo.



#### 2.5.4 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

La ICP-MS es especialmente valiosa para el análisis de suelos y permite analizar los elementos mayoritarios presentes en la muestra. Sobre las técnicas habituales de análisis por espectrometría de masas, posee las ventajas añadidas de una alta precisión y bajo límite de detección ya que permite la cuantificación simultánea de múltiples elementos en rangos de concentración muy bajos (elementos traza). Además, es relativamente barata y facilita el análisis cuantitativo de la mayoría de los elementos e isótopos presentes en la tabla periódica de manera simultánea en sólo dos minutos (130).



Figura 31. Espectrometría de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)



Figura 32. Espectrómetro de plasma acoplado inductivamente con detector de masas (ICP-MS)

### 2.5.5 Espectroscopia de absorción atómica de llama (EAA)

En este método de análisis cuantitativo las soluciones estándar deben ser preparadas de la forma más parecida posible a la composición de la solución de la muestra para compensar o eliminar interferencias.

La curva de calibración se dibuja en un sistema de coordenadas comparando la absorbancia de soluciones estándar de concentraciones conocidas del elemento a determinar con la absorbancia de su concentración en la muestra. La curva así obtenida suele ser lineal a bajas concentraciones y la concentración del elemento en la muestra puede calcularse por interpolación de su absorbancia en la curva de calibración.



Figura 33. Detalle de espectroscopio de absorción atómica de llama (EAA)

### 2.6 Análisis de las muestras de aguas

Además de los análisis microbiológicos realizados in situ en las aguas recogidas en Gambo, se analizaron sus elementos mayoritarios y parámetros característicos (conductividad, pH, dureza, sólidos disueltos, sólidos -sílice en especial- en suspensión, metales tóxicos, gases en suspensión, etcétera) <sup>(131)</sup>. Los elementos mayoritarios se determinaron con Autoanalizadores de Flujo Continuo y los elementos traza (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Ti, U, V y Zn) de modo simultáneo mediante ICP-MS según las normas de la EPA de

EE.UU. (Agencia de Protección Ambiental, Environmental Protection Agency) con límites de determinación comprendidos entre 0,2 y 2  $\mu\text{g/g}$ .



Fig. 34. Autoanalizadores de flujo continuo para agua

### **3 Estudio de las biopsias cutáneas**

#### **3.1 Toma, conservación y tinciones de las biopsias**

El examen histopatológico de la piel de los pacientes así como de los ganglios linfáticos regionales hubiera sido un capítulo interesante del estudio. Así, aunque en los años 70-80 se publicaron varios trabajos sobre tal examen histológico, la extracción de un ganglio con fines sólo investigadores en la actualidad se considera éticamente reprobable, dado que empeora significativamente el drenaje linfático y, por lo tanto, el pronóstico de estos enfermos.

Por este motivo, sólo se tomaron biopsias cutáneas en áreas distales (planta y dorso del pie, y cara medial de los dedos de los pies) de pacientes previamente informados verbalmente de la finalidad del análisis y que se ofrecieron voluntariamente para ello.

En todos los casos se extremaron las medidas de asepsia y, para evitar complicaciones infecciosas, estos enfermos ingresaron en el hospital durante una semana, siguiéndose las medidas habituales de limpieza y cura diaria de la herida. En un primer momento, noviembre de 2013, se tomaron dos biopsias cutáneas, una en cada enfermo, en la región plantar del antepié mediante ‘punch’ o sacabocados, obteniendo dos gramos de tejido para el análisis de metales en el Instituto Geológico y Minero de España



(IGME). Las muestras fueron conservadas en viales con alcohol etílico y posteriormente estudiadas en el laboratorio. Ya en el IGME, tras eliminar el alcohol, las dos muestras se disolvieron en un horno microondas CEM *Mars 5* con una mezcla de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. E, igualmente, en junio de 2014, y siguiendo las mismas pautas, se tomaron biopsias en otros cuatro enfermos para su posterior análisis histopatológico en la Fundación Jiménez Díaz de Madrid.

Debemos destacar que ninguno de los pacientes sufrió complicaciones infecciosas ni de otro tipo, evolucionando de forma favorable y pudiéndose reincorporar a sus actividades habituales una vez cicatrizadas las heridas.

Las biopsias para estudio histológico fueron teñidas con hematoxilina-eosina y estudiadas mediante microscopia óptica convencional y con el microscopio de luz polarizada buscando cristales minerales birrefringentes. Para realizar este estudio, se siguieron los siguientes pasos: 1º) fijado de las biopsias en formol tamponado durante 24 horas; 2º) a continuación se procedió a una primera inclusión en parafina en un procesador automático de tejidos; 3º) seguidamente se realizó una segunda inclusión manual de las biopsias en cápsulas plásticas rellenas de parafina; y 4º) mediante un microtomo se obtuvieron los cortes histológicos con un grosor medio de 4 micras.

Estos cortes se extendieron sobre portas de cristal y para teñirlos fueron desparafinados mediante calentamiento en estufa a 60° C durante 15 minutos y lavado posterior en dos fases con xilol durante tres minutos cada una. A continuación, los cortes se pasaron por alcohol etílico a concentración decreciente (99° y 96°) y para una tinción adecuada fueron pasados por agua.

Terminada esta fase, los cortes se tiñeron con Hematoxilina de Carazzi durante 10 minutos y a continuación se lavaron en agua durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo se realizó la tinción con eosina durante dos minutos. En un siguiente paso las muestras se deshidrataron lavándolas primero en alcohol de 96° en dos fases de tres minutos cada una, y posteriormente de 99° -también dos fases de tres minutos. Para finalizar se hizo un último lavado con xilol durante cinco minutos, y los cortes se montaron colocando sobre ellos un cubreobjetos para evitar su deterioro o rayado y permitir su correcta visualización al microscopio.

### 3.2 Estudio de minerales y elementos traza en las biopsias

Como paso previo al análisis de minerales y elementos traza en las biopsias de piel, las muestras fueron sometidas a un proceso de ataque en un dispositivo de microondas. A continuación, se estudiaron mediante *Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente con Detector de Masas* (ICP-MS) con un equipo Agilent 7500 ce, que permitió determinar en ellas las cantidades de berilio, aluminio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre, cinc, arsénico, selenio, molibdeno, plata, cadmio, antimonio, bario, mercurio, titanio, plomo, torio y uranio.



Figura 35. Microondas para ataque de las biopsias previo al análisis mediante ICP-MS.

### 3.3 Estudio de hongos

La presencia de hongos fue investigada en el laboratorio del Hospital de Gambo empleando muestras tomadas de los márgenes crecientes de las lesiones. Las muestras se obtuvieron de forma estéril mediante raspado cutáneo; una porción de la muestra obtenida se trató durante 15-30 minutos con 1-2 gotas de disolución 25% de KOH (Remel, Lenexa, KS, EE.UU.) y posteriormente fue examinada al microscopio en búsqueda de elementos fúngicos. La porción restante se inoculó en medio de agar-Sabouraud-dextrosa (Oxoid, Lenexa, KS EE.UU.), uno de ellos suplementado con cicloheximida (0,5 mg ml<sup>-1</sup>) (Oxoid, Basingstoke, Inglaterra) y se incubaron a temperatura ambiente (22-25 °C). Los cultivos fueron examinados periódicamente cada dos días durante un total de cuatro semanas para el crecimiento de dermatofitos. Se realizaron frecuentemente cultivos en agar de dextrosa de patata (Oxoid,

Basingstoke, Inglaterra) y arroz autoclavado para facilitar la identificación. El cultivo se consideró positivo si existía crecimiento entre los 14-28 días posteriores y negativo si no lo había después del día 28. Los cultivos positivos fueron examinados macro y microscópicamente para la identificación de las especies teniendo en cuenta las características del cultivo, producción de pigmentos y examen microscópico mediante tinción con azul de lactofenol o azul algodón (Remel, Lenexa, KS, EE.UU.) .

## **4 Análisis de los datos**

### **4.1 Base de datos**

Los datos y resultados obtenidos fueron recogidos en una tabla de Microsoft Excel 2010. Las coordenadas obtenidas por GPS se registraron en el programa de análisis cartográfico Quantum Gis (*Geographyc Information System*) <sup>(132)</sup> versión 2.0.1 con el fin de detallar la cartografía del territorio recorrido y la proyección de los casos sobre ella.

### **4.2 Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos utilizados para la descripción de las características clínico-epidemiológicas de los pacientes y la determinación de las medidas de frecuencia, asociación e impacto con los diferentes test estadísticos, se realizaron con el programa SPSS de IBM<sup>®</sup>, Versión 21.0 (*SPSS Inc.* Chicago, IL, EE.UU).

La descripción de los datos se ha hecho mediante recuentos absolutos y relativos utilizando tablas de frecuencia y gráficos. Las variables cuantitativas se han descrito mediante resultados estadísticos de tendencia central (media y mediana) y sus correspondientes medidas de dispersión (desviación estándar y rango intercuartílico) según siguieran o no una distribución normal. Para verificar la normalidad de una distribución se utilizó el test de Kolmogórov-Smirnov, donde se consideró que los resultados  $p < 0,05$  no seguían una distribución normal.

Para la comparación de las variables continuas, si seguían la distribución normal, se utilizó el test de t-Student para dos muestras independientes, y el test de ANOVA para tres o más muestras independientes. Para la comparación de las variables continuas, si no seguían una distribución normal, se utilizó el test no paramétrico de U de Mann-

Whitney para dos muestras independientes y el test no paramétrico de Kruskal-Wallis para tres o más muestras independientes.

Para la comparación de variables categóricas se utilizó la  $\chi^2$  con la corrección de Yates, o la prueba exacta de Fisher cuando no se cumplían las condiciones para aplicar la prueba de la  $\chi^2$ .

Los valores de 'p' se consideraron significativos si eran menores de 0,05. Las variables que fueron significativas con valor  $p < 0,05$  se incluyeron en el análisis multivariante mediante un análisis de regresión logística múltiple para eliminar la interrelación entre las variables.

Finalmente, la magnitud de la asociación de las variables relacionadas en el análisis multivariado se evaluó mediante la *odds ratio* (OR) con el intervalo de confianza del 95% (IC 95%).

## **5 Aspectos éticos**

El estudio se realizó respetando los principios de la declaración de Helsinki y las normas de buena práctica clínica. Los datos fueron confidenciales y los nombres de los participantes no aparecieron en ninguna información cumpliendo con lo establecido en la ley del Estado Español, 5/1999 de protección de datos de carácter personal. Su participación en el estudio fue tratada con la misma confidencialidad que su documentación clínica y sólo tuvieron acceso a ellos los investigadores del estudio. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación del Hospital General Rural de Gambo y el Secretariado Católico del Obispado de Meki.

## **6 Diseño de un plan de intervención**

Teniendo en cuenta los datos recogidos y los resultados, se diseñó un plan de intervención para intentar reducir la prevalencia de la podoconiosis en el área de influencia del Hospital General Rural de Gambo. Asimismo, se tuvo en cuenta la experiencia obtenida tras viajar a Wolaita-Sodo, otra área de Etiopía donde la podoconiosis es prevalente y donde la MFTPA (*Mossy Foot Treatment and Prevention Association*), fundada en 1997 por el médico norteamericano Nathan

Barlow) ya había establecido un plan de intervención para la prevención y tratamiento de esta enfermedad, logrando buenos resultados.



**RESULTADOS**

---





## RESULTADOS

### 1 Diseño del plan de intervención

#### 1.1 Implantación de una estrategia de tratamiento durante un año en el Hospital General Rural de Gambo

Se describe la experiencia del intento de establecer un programa para el tratamiento de la podoconiosis durante un año, desde junio 2012 hasta mayo de 2013, en el Hospital General Rural de Gambo, (al sur de Addis Abeba, Etiopía), creando una infraestructura de personal (un fisioterapeuta) y material (agua limpia, jabón, lejía, vendas, calcetines y calzado) para el tratamiento de los pacientes.

El Hospital de Gambo cubre la atención de 11 *kebeles* o poblados, con una población total estimada de 100.000 habitantes. Durante ese período acudieron a consulta 34.567 pacientes de los que sólo 24 (siete varones y 17 mujeres; proporción 1:2,4) habían buscado atención médica por podoconiosis y cuya edad media fue 26,7 años.

Catorce de los 24 pacientes (58,3%) dijeron estar afectados por la enfermedad desde hacía más de cinco años, y seis (25%) tenían uno o más familiares afectados. De los 24, 14 (58,3%) no estaban casados. Todos provenían de un área rural y habían caminado siempre descalzos antes del desarrollo de la enfermedad. La mayoría eran agricultores (cinco hombres y dos mujeres) o estudiantes (dos varones y ocho mujeres), mientras que una minoría eran trabajadores por cuenta ajena o bien amas de casa (siete mujeres).

Veintiuno de los 24 pacientes (87,5%) se encontraban en los estadios 2 y 3 de la clasificación de Tekola, y tres en estadio 5. Tras el diagnóstico, a todos se les enseñaron las medidas básicas de higiene de pies y piernas con agua, lejía diluida y jabón, y a continuación fueron tratados por un fisioterapeuta del Hospital de Gambo. Todos los pacientes acudieron a diario al Hospital a lo largo de dos semanas en la fase intensiva, según las recomendaciones de Sikorski *et al* <sup>(124)</sup>. Sólo dos (8,3%) pacientes completaron el seguimiento durante 48 semanas, y los 22 pacientes restantes no acudieron tras la fase intensiva. Los dos únicos enfermos que pudieron ser seguidos tuvieron una evolución favorable, con práctica resolución del edema y disminución significativa de la apariencia ‘musgosa’ o *verruccosis* después del tratamiento.

## 1.2 Búsqueda activa de casos

Después de valorar los datos arriba indicados y dada la escasa afluencia espontánea de pacientes al Hospital por este motivo, se decidió buscar activamente casos de podoconiosis en un territorio próximo a la Misión. Eso se hizo desde el 20 de agosto al 5 de diciembre 2013, persiguiendo dos objetivos: por un lado, informar a los pacientes, a sus familiares y vecinos, y en general a la población, sobre la enfermedad, sus causas reales, cómo prevenirla y su tratamiento; y, por otro, incrementar el número de consultas hospitalarias por este motivo.

Para acceder a la población, contamos con la ayuda de los *health extensions post* (puestos de salud en zonas remotas), con sus *health workers*, que en nuestro caso fueron dos mujeres locales con formación sanitaria básica, buenas conocedoras de la población y que recorrían el territorio atendiendo los problemas de salud de sus habitantes.

Se registraron en total 106 casos: 99 en la búsqueda activa realizada en los seis *kebeles* a los que acudimos: Gambo (8 pacientes), Bombaso (5), Lephis (12), Gambelto (11), Ashoka (34), Bashako (18) y Huluka (11), además de los siete que habían acudido al Hospital por iniciativa propia.

## 2 Resultados De la serie clínica

### 2.1 Características epidemiológicas y demográficas

De los 106 pacientes nuevos, 61 eran mujeres (57,5%) y 45 hombres (42,5%), con proporción 1,35/1. La edad media “aproximada” en el momento del diagnóstico fue de 38,8 años, y se especifica aproximada porque la gran mayoría de ellos desconocía cuál era exactamente su edad.

Treinta y siete de los 106 (34,9%) estaban casados, 22 eran solteros (la mayor parte estudiantes), cuatro mujeres estaban divorciadas y 15 mujeres eran viudas.

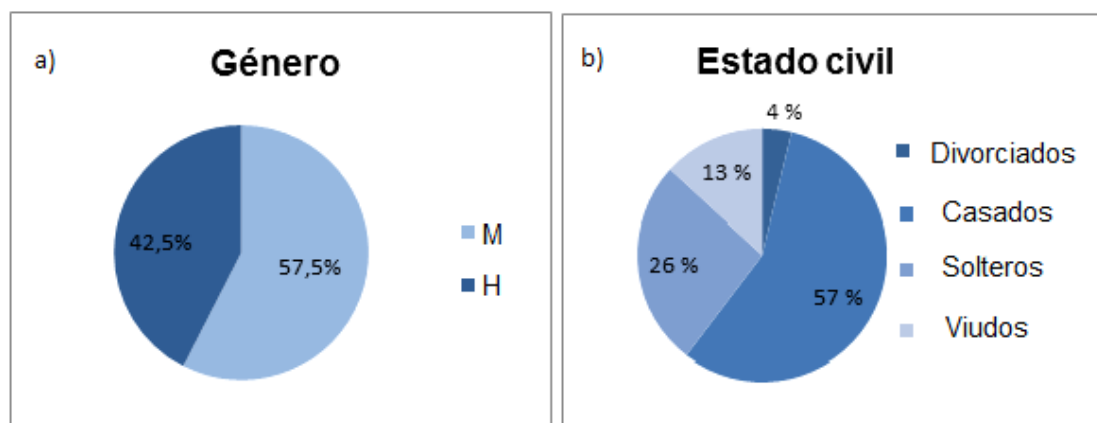


Figura 36. a) Sexo y b) estado civil de los nuevos pacientes con podocóniosis.

Cincuenta y dos pacientes (49,1%) se dedicaban a la agricultura, 20 eran estudiantes (18,9%), seis se encontraban en situación de desempleo (5,7%) y una paciente era maestra de profesión. Únicamente 29 (27,3%) decían dedicarse exclusivamente a la agricultura como profesión, si bien la mayoría de los demás (58 pacientes -el 54,7%-) colaboraban en la misma ayudando a tiempo parcial a su familia trabajando en el campo.

Como ya se indicó previamente, de los 99 pacientes encontrados mediante búsqueda activa, se registraron ocho casos en Gambo, cinco en Bombasho, 12 en Lephis, 11 en Gambelto, 34 en Ashoka, 18 en Basako, y 11 en el territorio del río Huluka, que delimita los *kebeles* de Ashoka y Gambelto. Los siete restantes procedían de *kebeles* de otras comarcas: Awasho Daku (Shashemane), Ashute (Silte), Jawi Wacho (Shirka), Jido (Arsi Negele), Ashalla (Tosa), Kuya (Bula Wora) y Samen Gotu (Silte).

Noventa y ocho pacientes pertenecían al grupo étnico ‘oromo’ y, como tales, hablaban el dialecto *oromigna*; cuatro eran ‘kambatas’ y su lengua era el *kambatigna*; tres pertenecían al grupo ‘guraghe’ (procedentes de las tierras altas del noreste de Etiopía); y, finalmente, uno ‘amhara’, al norte de Addis Abeba, cuya lengua materna era el *amharigna*, o amhárico, idioma oficial de Etiopía.

De los 106 pacientes 49 sabían leer y escribir y 57 eran analfabetos (53,7%). De los que habían ido a la escuela, no todos habían completado la educación básica y el año medio de enseñanza alcanzado fue el sexto curso, sobre un total de diez. Ochenta y cinco (80,1%) habían residido durante toda su vida en el mismo lugar donde nacieron y en el que se diagnosticó la enfermedad.

Setenta y dos pacientes (68%) tenían que caminar al menos diez minutos hasta alcanzar la fuente de agua potable más cercana; de los 34 restantes, 25 (23,6%) caminaban durante 30 minutos para obtener agua, seis tardaban una hora, dos caminaban 1,5 horas y uno tardaba alrededor de dos horas en llegar hasta el punto de agua potable más cercano a su hogar.

En lo referente a la higiene de las extremidades inferiores, la religión desempeña un papel importante debido a la práctica de la ablución (*tahara*) por la población musulmana. Tal práctica consiste en una purificación ritual de algunas partes del cuerpo antes de la oración o *Salat*, y la *Tawaf*, circunvalación alrededor de la *Kaaba* – construcción en forma de cubo que se encuentra en La Meca, y que representa el lugar sagrado y de peregrinación religiosa más importante del Islam. En el Islam se practican dos tipos de abluciones: las grandes (*ghusl*) y las pequeñas abluciones (*wudû*). El *ghusl* es el lavado completo del cuerpo, obligatorio tras la eyaculación, y recomendado antes de la oración del viernes, la oración del *Aid* (dos fiestas musulmanas), o cuando se abraza el Islam. Además, los musulmanes deben practicar el *wudû* antes de la oración, del *Tawaf*, antes de ir a dormir, de leer el Corán, del *ghusl* o antes de invocar a Allah y siempre siguiendo un ritual muy meticuloso: lavado de las manos, cabeza, boca y pies, mientras se recita la *shahada* (‘no hay más dios que Alá y Mahoma es su profeta’). En la Oromía, el musulmán se lava los pies cinco veces al día: antes de la oración, incluyendo los tobillos y empezando siempre por el pie derecho y terminando con el izquierdo, repitiéndolo tres veces por cada pie. Si bien en el rito original se recomienda el lavado y fricción del pie entero con agua, en esta región etíope suele ser más superficial.

Una vez sospechado un caso de podoconiosis, se realizó una anamnesis básica que incluía el antecedente de otras enfermedades médicas como fiebre reumática, lepra y si se había residido en áreas donde se hubiera podido contraer una filariasis linfática. (Los mosquitos vectores de la filariasis, de las familias de culícidos y flebotomos, no se ven en la región de Gambo ya que la altitud a la que está, 2.200 metros, con frecuentes temperaturas nocturnas por debajo de los 11° C no permiten su desarrollo). En todos los pacientes se exploró la sensibilidad y se buscó el posible engrosamiento de nervios periféricos u otras alteraciones cutáneas o morfológicas que sugiriesen infección por *Mycobacterium leprae*. Asimismo, siempre se exploró la región inguinal

con el fin de descartar compromiso en el retorno venoso o linfático de los miembros inferiores, bien por tumores o por infecciones como la linfadenitis tuberculosa. E, igualmente, se descartó insuficiencia cardíaca congestiva mediante la anamnesis y un examen físico básico, si bien las condiciones para hacerlo no siempre fueron las más apropiadas (con frecuencia hubo que realizarlo dentro de una choza con luz escasa y animales correteando alrededor).

En cuanto a las creencias acerca de la etiología de la podocóniosis, 26 de los 106 enfermos (24,5%) consideraban el frío como principal agente causal de la enfermedad; 22 (20,7%) pensaban que se debía a la mordedura de una serpiente, o a haber pisado una durante la infancia; seis (5,5%) creían haber sido infectados por otras personas enfermas, ‘como la lepra’ -añadían. Únicamente cuatro pacientes mencionaban el hecho de encontrarse descalzos a la hora de contraer la enfermedad, entre otros factores por ‘trabajar descalzo durante el cultivo de la tierra’, ‘caminar descalzo largas distancias’, ‘trabajar descalzo mientras hace frío y hay serpientes’, etcétera. El resto apuntaban ideas diversas, entre las que se encontraban la maldición divina, el fuego, haberse tragado un gusano cuando eran niños, haber pisado excrementos de vaca trabajando la tierra, haber pisado un animal muerto, haberla heredado de sus progenitores, o que se debía al sol.

Todos los pacientes reconocían haber caminado descalzos durante ‘un tiempo muy largo’. Aunque 18 afirmaban haber andado habitualmente descalzos al menos durante diez años, la mayor parte no sabían precisar ni aproximadamente cuánto tiempo habían expuesto sus pies directamente al suelo. A pesar de tal imprecisión y asumiendo un notable margen de error, se puede estimar que el tiempo medio de evolución de la enfermedad en el momento del diagnóstico fue de 11 años.

En relación con el uso de calzado, 51 pacientes (48,1%) afirmaban utilizarlo de manera habitual, excepto cuando realizaban las labores de agricultura (porque “descalzos no se resbala y los pies se agarran mejor a la tierra”) o mientras se encontraban dentro de su *casa*; 32 (30%) decían llevar zapatos siempre desde que pudieron disponer de ellos. Seis pacientes (5,7%) nunca los usaban, aunque reconocían que sí los utilizarían si se lo pudieran permitir. El resto (16,2%) llevaban zapatos de forma intermitente, por ejemplo para acudir al colegio, el día de mercado

(diferente según el día de la semana en cada pueblo), los días de fiesta o de celebraciones, o bien si iban a caminar largas distancias.

En el momento de la consulta y el diagnóstico, 12 de los 106 pacientes estaban descalzos (11,3%); 67 (63,2 %) llevaban zapatos de plástico duro y sin transpiración; 15 calzaban sandalias abiertas (14,2%); nueve usaban zapatillas deportivas (8,5%) y sólo tres (2,8%) llevaban zapatos de cuero.

La edad media a la que los pacientes tuvieron su primer par de zapatos fue de 21,2 años, si bien seis no podían recordar ni aproximadamente a qué edad sus padres se los habían comprado por primera vez, y cinco (4,5%) nunca los habían usado.

Veinticinco pacientes afirmaban tener un familiar afectado por la enfermedad: 17, un hermano/a; tres, un progenitor; otros tres, un hijo; uno, una tía; una, una sobrina; además, tres pacientes tenían dos familiares afectados por la enfermedad, dos tenían dos hijos con podoconiosis y una mujer tenía un hijo y un hermano enfermos.

## 2.2 Características clínicas

### 2.2.1 **Estadio de la enfermedad**

Ochenta y cinco de los 106 pacientes (80,2%) se encontraban en estadio 2 en el momento del diagnóstico, 17 (16%) en estadio 3 y cuatro (3,8%) en estadio 5. Sesenta y tres (59,4%) ya habían desarrollado cambios tróficos cutáneos con una apariencia similar al musgo y 22 (20,8%) tenían heridas en la piel.



Figura 37. Ejemplos de lesiones musgosas en pacientes con podoconiosis.





Figura 38. Paciente del kebele *Bashako* encontrada en su choza durante la búsqueda activa de casos. Obsérvense las abundantes excrecencias cutáneas como musgo y heridas que facilitan la sobreinfección bacteriana y los episodios agudos de linfangioadenitis. A su lado, están sus zapatos de plástico duros y sin transpiración.

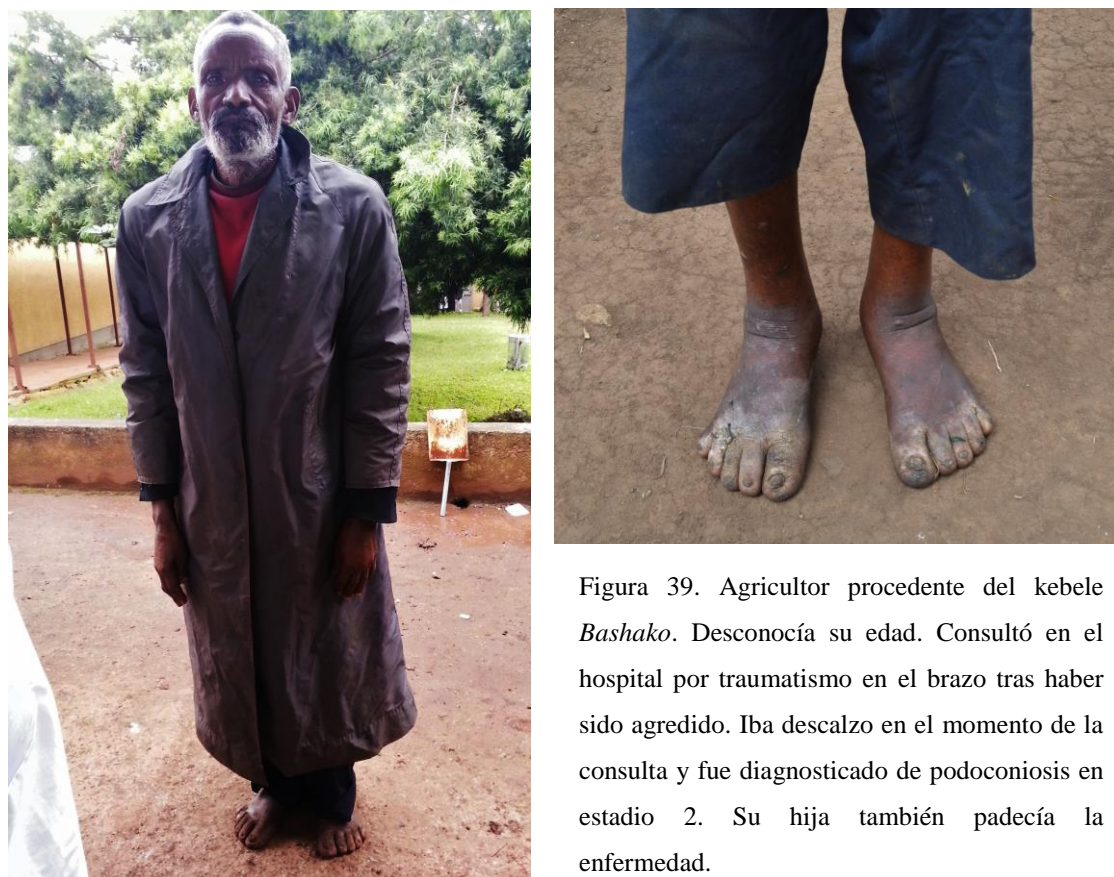


Figura 39. Agricultor procedente del kebele *Bashako*. Desconocía su edad. Consultó en el hospital por traumatismo en el brazo tras haber sido agredido. Iba descalzo en el momento de la consulta y fue diagnosticado de pododermatitis en estadio 2. Su hija también padecía la enfermedad.





Figura 40. Paciente viuda y que trabajaba en la agricultura, procedente de *Negele*, con podoconiosis en estadio 5. Consultó descalza. Creía que la enfermedad se debía a una maldición divina y que no tenía tratamiento. Presentaba abundantes lesiones musgosas, nódulos y varias heridas pequeñas en el dorso del pie. Obsérvese la fusión de las articulaciones metatarso-falángicas e interfalángicas y el engrosamiento de la planta del pie.



Figura 41. Predicador cristiano ortodoxo de la Iglesia de *Bashako*, de la etnia 'kambata'. Había consultado varias veces en el Hospital pero se le había transmitido que no había tratamiento eficaz. Obsérvese la práctica fusión de los dedos



### 2.2.2 Sexo y edad de los pacientes

De los 106 pacientes (61 mujeres y 45 varones), la proporción entre sexos fue similar en mayores y menores de 25 años (Tabla 1). Treinta y siete pacientes (19 M y 18 V) eran menores de 25 años (34,9% de 106) y 69 (65,1% de 106) -42 mujeres y 27 varones-, casi el doble, superaban esa edad ( $p=0.35$ ).

Tabla 1. Sexo y edad de los pacientes.

			Edad		Total
			7-25 años	> 25 años	
Sexo	M	número de casos	<b>19</b>	<b>42</b>	<b>61</b>
		% de los < 25 años	(19/37) 51,4%	(42/69) 60,9%	(61/106) 57,5%
		% del total	(19/106) 17,9%	(42/106) 39,6%	57,5%
	V	número de casos	<b>18</b>	<b>27</b>	<b>45</b>
		% de los < 25 años	(18/37) 48,6%	(27/69) 39,1%	(45/106) 42,5%
		% del total	17,0%	25,5%	42,5%
Total	número de casos		<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>
	% del total		(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	100%

### 2.2.3 Sexo y estadio clínico

El estadio clínico fue similar en mujeres y varones (Tabla 2). Aunque en estadio 5 hubo tres mujeres y un varón, el pequeño número de casos no permite valorar diferencias estadísticas.

Tabla 2. Sexo y estadio clínico

			Sexo		Total
			Mujeres	Varones	
Estadio	2	número de casos	<b>51</b>	<b>34</b>	<b>85</b>
		% respecto a sexo	(51/61) 83,6%	(34/45) 75,6%	(85/106) 80,2%
		% respecto al total	(51/106) 48,1%	(34/106) 32,1%	(85/106) 80,2%
	3	número de casos	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>17</b>
		% respecto a sexo	(7/61) 11,5%	(10/45) 22,2%	(17/106) 16,0%
		% respecto a 106	(7/106) 6,6%	(10/106) 9,4%	(17/106) 16,0%
	5	número de casos	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
		% respecto a sexo	(3/61) 4,9%	(1/45) 2,2%	(4/106) 3,8%
		% respecto al total	(3/106) 2,8%	(1/106) 0,9%	(4/106) 3,8%
Total	número de casos		<b>61</b>	<b>45</b>	<b>106</b>
	% respecto a 106		(61/106) 57,5%	(45/106) 42,5%	(106/106) 100%

## 2.2.4 Edad y estadio clínico

Tabla 3. Edad y estadio clínico

			Edad		Total	
			7-25 años	> 25 años		
Estadio	2	número de casos	<b>34</b>	<b>51</b>	<b>85</b>	
		% respecto a edad	(34/37) 91,9%	(51/69) 73,9%	(85/106)	80,2%
		% del total	(34/106) 32,1%	(51/106) 48,1%	(85/106)	80,2%
	3	número de casos	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	
		% respecto a edad	(3/37) 8,1%	(14/69) 20,3%	(17/106)	16,0%
		% del total	(3/106) 2,8%	(14/106) 13,2%	(17/106)	16,0%
	5	número de casos	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
		% respecto a edad	0,0%	(4/69) 5,8%	(4/106)	3,8%
		% del total	0,0%	(4/106) 3,8%	(4/106)	3,8%
Total		número de casos	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>	
		% del total	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106)	100%

Ochenta y cinco (34 menores y 51 mayores de 25 años) de los 106 pacientes (80,2%) fueron diagnosticados en estadio 2, (Tabla 3). A su vez, 34 de los 37 de hasta 25 años (91,9%) fueron diagnosticados en estadio 2 y sólo el 8,1% (tres de 37) en estadio 3. A su vez, el 73,9% de los mayores de esa edad fueron diagnosticados en estadio 2, el 20,3% en estadio 3 y 5,8% en estadio 5 ( $p = 0,03$ ; diferencia estadísticamente significativa); es decir, sí que se encuentran diferencias en cuanto al estadio clínico en función de la edad: en estadio 3 hay 14 pacientes mayores de 25 años y sólo tres menores de esa edad. (No hay ninguno en estadio 4). Y los cuatro pacientes en estadio 5 eran > de 25 años. Es decir: con la edad (años descalzos) aumenta el grado de la enfermedad.

## 2.2.5 Edad y alfabetización

De los 106 pacientes, 48 (46,2%) sabían leer y escribir y 58 (53,7%) eran analfabetos (Tabla 4). En función de la edad, el 78,4% de los pacientes de hasta 25 años sabía leer y escribir, frente al 27,5% de los pacientes mayores de esa edad, diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,001$ ).

Tabla 4. Edad y alfabetización

			Edad		Total
			7-25 años	> 25 años	
Sabían leer y escribir	No	Número de casos	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>58</b>
		% de < 25 años	(8/37) 21,6%	(50/69) 72,5%	(58/106) 54,7%
		% de 106 pacientes	(8/106) 7,5%	(59/106) 47,2%	(58/106) 54,7%
	Sí	Número de casos	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>48</b>
		% de < 25 años	(29/37) 78,4%	(19/69) 27,5%	(48/106) 45,3%
		% del total (106)	(29/106) 27,4%	(19/106) 17,9%	(48/106) 45,3%
Total		Número de casos	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>
		% del total (106)	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106) 100%

### 2.2.6 Edad y creencias de los pacientes sobre la causa de la podocóniosis

No hubo diferencia en cuanto a la edad y las creencias acerca del origen de la enfermedad (Tabla 5). No obstante, llama la atención el elevado número de enfermos (28) que no tenían ninguna idea al respecto, y los que la atribuían a mordedura de serpiente o a caminar “descalzo con frío”.

Tabla 5. Edad y creencias acerca del origen de la enfermedad

		Edad		Total
		7-25 años	> 25 años	
Ninguna idea	Recuento/n° de casos	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>28</b>
	% en función de edad	(12/37) 32,4%	(16/69) 23,2%	(28/106) 26,4%
	% del total	(11/106) 10,4%	(15/106) 15,6%	(28/106) 26,4%
Mordedura de serpiente	Número de casos	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25</b>
	% en función de edad	(10/37) 27,0%	(15/69) 21,7%	(25/106) 23,6%
	% del total	(10/106) 9,4%	(15/106) 14,1%	(25/106) 22,6%
Andar descalzo con frío	Número de casos	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>26</b>
	% en función de edad	(6/37) 16,2%	(20/69) 29,0%	(26/106) 24,5%
	% del total	(6/106) 5,7%	(20/106) 18,8%	(26/106) 24,5 %
Andar descalzo	Número de casos	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	% en función de edad	(1/37) 2,7%	(4/69) 5,8%	(5/106) 4,7%
	% del total	(1/106) 0,9%	(4/106) 3,8%	(5/106) 4,7%
“Reumatismo”	Número de casos	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
	% en función de edad	(1/37) 2,7%	0,0%	(1/106) 0,9%
	% del total	(1/106) 0,9%	0,0%	(1/106) 0,9%
Herencia	Número de casos	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
	% en función de edad	(1/37) 2,7%	(3/69) 4,3%	(3/106) 2,8%
	% del total	(1/106) 0,9%	(3/106) 3,1%	(3/106) 2,8%
Lepra	Número de casos	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
	% en función de edad	(2/37) 5,4%	(3/69) 4,3%	(4/106) 3,8%
	% del total	(2/106) 1,9%	(2/106) 1,9%	(4/106) 3,8%
Maldición divina	Número de casos	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	% en función de edad	(1/37) 2,7%	(2/69) 2,9%	(3/106) 2,8%
	% del total	(1/106) 1,0%	(2/106) 2,1%	(3/106) 2,8%
Otros	Número de casos	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
	% en función de edad	(3/37) 8,1%	(6/69) 8,7%	(9/106) 8,5%
	% del total	(3/106) 3,1%	(6/106) 7,3%	(9/106) 8,5%
Total	Número de casos	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>
	% del total	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106) 100%

### 2.2.7 Sexo de los enfermos y familiares afectados

El número de familiares con la enfermedad fue igual en hombres y mujeres, (tabla 6).

Tabla 6. Sexo de los enfermos y número de familiares afectados.

			Sexo		Total
			Mujeres	Varones	
Número de familiares afectados	0	Número de casos	<b>46</b>	<b>31</b>	<b>77</b>
		% en función de sexo	(46/61) 75,4%	(31/45) 68,9%	(77/106) 72,6%
		% del total (106)	(46/106) 43,4%	(31/106) 29,2%	(77/106) 72,6%
	1	Número de casos	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>26</b>
		% en función de sexo	(13/61) 21,3%	(13/45) 28,9%	(26/106) 24,5%
		% del total	(13/106) 12,3%	(13/106) 12,3%	(26/106) 24,5%
	2	Número de casos	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
		% en función de sexo	(2/61) 3,3%	(1/45) 2,2%	(3/106) 2,8%
		% del total	(2/106) 1,9%	(1/106) 0,9%	(3/106) 2,8%
Total		Número de casos	<b>61</b>	<b>45</b>	<b>106</b>
		% del total	(61/106) 57,5%	(45/106) 42,5%	(106/106) 100%

### 2.2.8 Edad y número de familiares afectados

El número de familiares afectados fue mayor en los pacientes mayores de 25 años (21 de 69; 30,4%) que en menores (8 de 37 pacientes, 21,6%), ( $p=0.2$ )

Tabla 7. Edad y número de familiares afectados

			Edad		Total
			7-25 años	> 25 años	
Número de familiares afectados	0	Número de casos	<b>29</b>	<b>48</b>	<b>77</b>
		% en función de edad	(29/37) 78,4%	(48/69) 69,6%	(77/106) 72,6%
		% del total	(29/106) 27,4%	(48/106) 45,3%	(77/106) 72,6%
	1	Número de casos	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>26</b>
		% en función de edad	(8/37) 21,6%	(18/69) 26,1%	(26/106) 24,5%
		% del total	(8/106) 7,5%	(18/106) 17,0%	(26/106) 24,5%
	2	Número de casos	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
		% en función de edad	0,0%	(3/69) 4,3%	(3/106) 2,8%
		% del total	0,0%	(3/106) 2,8%	(3/106) 2,8%
Total		Número de casos	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>
		% del total	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106) 100%

### 2.2.9 Edad y lesiones musgosas

Catorce de 37 (37,8%) pacientes menores de 25 años tenían lesiones musgosas frente a 40 de 69 (58,0%) ( $p=0,04$ ) mayores de esa edad (Tabla 8).

Tabla 8. Edad y lesiones musgosas

		Edad		Total
		7-25 años	> 25 años	
Lesiones musgosas	Número de casos	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>52</b>
	No % en función de edad	(23/37) 62,2%	(29/69) 42,0%	(52/106) 49,1%
	% del total	(23/106) 21,7%	(29/106) 27,4%	(52/106) 49,1%
	Sí Número de casos	<b>14</b>	<b>40</b>	<b>54</b>
	% en función de edad	(14/37) 37,8%	(40/69) 58,0%	(54/106) 50,9%
	% del total	(14/106) 13,2%	(40/106) 37,7%	(54/106) 50,9%
Total	Número de casos	<b>37</b>	<b>69</b>	<b>106</b>
	% del total	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106) 100%

### 2.2.10 Sexo y lesiones musgosas (Tabla 9)

Aunque las lesiones musgosas fueron menos frecuentes en mujeres (27 de 61, 44,3%) que en varones (27 de 45, 60%), la diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p=0,10$ ).

Tabla 9. Sexo y lesiones musgosas.

		Sexo		Total
		Mujeres	Varones	
Lesiones musgosas	No Número de casos	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>52</b>
	% en función de sexo	(34/61) 55,7%	(18/45) 40,0%	(52/106) 49,1%
	% del total	(34/106) 32,1%	(18/106) 17,0%	(52/106) 49,1%
	Sí Número de casos	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>54</b>
	% en función de sexo	(27/61) 44,3%	(27/45) 60,0%	(54/106) 50,9%
	% del total	(27/106) 25,5%	(27/106) 25,5%	(54/106) 50,9%
Total	Número de casos	<b>61</b>	<b>45</b>	<b>106</b>
	% del total	(61/106) 57,5%	(45/106) 42,5%	(106/106) 100%

### 2.2.11 Relación entre lesiones musgosas y estadio clínico

De los 54 pacientes (50,9% de 106) que tenían cambios tróficos cutáneos con apariencia similar al musgo, 36 se encontraban en estadio 2 (36/85: 42,4%), 14 en estadio 3 (14/17: 82,4%) y los cuatro pacientes en estadio 5 (4/4; 100%) ( $p<0.001$ ). Es decir, la proporción de estas lesiones aumentó en los pacientes con estadios más avanzados de la enfermedad, (Tabla 10).

Tabla 10. Estadio clínico y lesiones musgosas.

			Estadio			Total
			2	3	5	
Lesiones musgosas	No	Número de casos	<b>49</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>52</b>
		% sin les. musgosas	(49/52) 94,2%	(3/52) 5,8%	0,0%	(52/52) 100%
		% según estadio	(49/85) 57,6%	(3/17) 17,6%	0,0%	(52/106) 49,1%
		% del total	(49/106) 46,2%	(3/106) 2,8%	0,0%	(52/106) 49,1%
	Sí	Número de casos	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>54</b>
		% sin les. musgosas	(36/54) 66,7%	(14/54) 25,9%	(4/54) 7,4%	(54/54) 100,0%
		% según estadio	(36/85) 42,4%	(14/17) 82,4%	(4/4) 100%	(54/106) 50,9%
Total		% del total	(36/106) 34,0%	(14/106) 13,2%	(4/106) 3,8%	(54/106) 50,9%
		Número de casos	<b>85</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>106</b>
		% de sin l. Musgosas	(85/106) 80,2%	(17/106) 16,0%	(4/106) 3,8%	(106/106) 100%
		% del total	(85/106) 80,2%	(17/106) 16,0%	(4/106) 3,8%	(106/106) 100%

### 2.2.12 Relación entre edad, estadio clínico y heridas cutáneas

Se observaron heridas en 22 de los 106 pacientes, que fueron más frecuentes en los pacientes con estadios más avanzados de podocóniosis (Tabla 11). Así, 11 de los 85 (12,9%) en estadio 2 tenían heridas abiertas, frente a 8 de los 17 en estadio 3 (47,1%) y tres de los cuatro (75%) que estaban en estadio 5 ( $p<0.001$ ). De los 22 pacientes con heridas, cinco tenían menos de 25 años (13,5% de los 37 < 25 años) y 17 (24,6% de 69) superaban esa edad,  $p<0,05$ .

Tabla 11. Estadio clínico y heridas cutáneas

			Estadio			Total
			2	3	5	
Heridas	No	Nº casos sin heridas	74	9	1	84
		% según estadio	(74/85) 87,1%	(9/17) 52,9%	(1/4) 25,0%	(84/106) 79,2%
		% del total	(74/106) 69,8%	(9/106) 8,5%	(1/106) 0,9%	(84/106) 79,2%
	Sí	Nº casos con heridas	11	8	3	22
		% de heridas	(11/22) 50,0%	(8/22) 36,4%	(3/22) 13,6%	100,0%
		% según estadio	(11/85) 12,9%	(8/17) 47,1%	(3/4) 75,0%	(22/106) 20,8%
		% del total	(11/106) 10,4%	(8/106) 7,5%	(3/106) 2,8%	(22/106) 20,8%
	Total	Nº de casos	85	17	4	106
% dentro de heridas		(85/106) 80,2%	(17/106) 16%	(4/106) 3,8%	(106/106)100%	
% del total		(85/106) 80,2%	(17/106) 16%	(4/106) 3,8%	100%	

### 2.2.13 Relación entre sexo y heridas

En 12 de las 61 mujeres (19,7%) y 10 de los 45 varones (22,2%) se observaron heridas en los pies, (Tabla 12), sin diferencia estadísticamente significativa ( $p=0,5$ ).

Tabla 12. Sexo y heridas cutáneas

			Sexo		Total
			Mujeres	Varones	
Heridas	No	Número de casos	<b>49</b>	<b>35</b>	<b>84</b>
		% según sexo	(49/61) 80,3%	(35/45) 77,8%	(84/106) 79,2%
		% del total	(49/106) 46,2%	(35/106) 33,0%	(84/106) 79,2%
	Sí	Número de casos	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>22</b>
		% según sexo	(12/61) 19,7%	(10/45) 22,2%	(22/106) 20,8%
		% del total	(12/106) 11,3%	(10/106) 9,4%	(22/106) 20,8%
	Total		<b>61</b>	<b>45</b>	<b>106</b>
			(61/106) 57,5%	(45/106) 42,5%	(106/106) 100,0%



### 2.2.14 Simultaneidad de heridas y lesiones musgosas

Veinte de los 22 pacientes con heridas cutáneas (90,9%) tenían a la vez cambios tróficos de tipo *musgoso* (Tabla 13); en cambio, 34 de los de los 84 (40,4%) de los enfermos sin heridas, sufrían lesiones musgosas ( $p < 0,001$ ).

Tabla 13. Simultaneidad de lesiones musgosas y heridas.

			Heridas				Total	
			No		Sí			
Lesiones Musgosas	No	Número de casos	50		2		52	
		% con l. musgosas	(50/52)	96,2%	(2/52)	3,8%	(52/52)	100%
		% con heridas	(50/84)	59,5%	(2/22)	9,1%	(52/106)	49,1%
		% del total	(50/106)	47,2%	(2/106)	1,9%	(52/106)	49,1%
	Sí	Número de casos	34		20		54	
		% con l. musgosas	(34/54)	63,0%	(20/54)	37,0%	(54/54)	100%
		% con heridas	(34/84)	40,5%	(20/22)	90,9%	(52/106)	50,9%
		% del total	(34/106)	32,1%	(20/106)	18,9%	(52/106)	50,9%
Total		Número de casos	84		22		106	
		% con l. musgosas	(84/106)	79,2%	(22/106)	20,8%	(106/106)	100%
		% del total	(84/106)	79,2%	(22/106)	20,8%	(106/106)	100%

### 2.2.15 Sexo y tiempo descalzos

El tiempo que habían caminado descalzos fue similar en mujeres y hombres, como se aprecia en la tabla 14.

Tabla 14. Sexo y tiempo caminando descalzos

	Mujeres (n=61) Media±DE	Varones (n=45) Media±DE
Tiempo con la enfermedad	11,6 ±11,1	10,6±12,1
Tiempo caminando descalzo	16,3±13,1	17,0±15,6

### 2.2.16 Edad y tiempo descalzos

Los menores de 25 años llevaban una media de 8,54 años (DE: 4,0) andando sin calzado, (Tabla 15), frente a los mayores de 25 años, que, lógicamente, habían ido descalzos durante más tiempo, con una media de 20,8 años (DE: 15,7) ( $p < 0,001$ ).

Tabla 15. Edad y tiempo caminando descalzos

	7-25años (n=37) Media $\pm$ DE	>25 años (n=69) Media $\pm$ DE
Tiempo descalzos	8,54 $\pm$ 4,03	20,85 $\pm$ 15,68

### 2.2.17 Uso de calzado en varones y mujeres

Doce (seis mujeres y seis varones) de los 106 pacientes estaban descalzos cuando fueron diagnosticados y noventa y cuatro (88,6%) llevaban calzado (57 mujeres y 37 varones) (Tabla 16). A su vez, 19 de las 44 mujeres (43,2%) y 23 de los 50 varones (46%) afirmaban llevarlo siempre, ( $p = 0,2$ ). Además, 25 de las 44 mujeres (56,8%) y 27 de los 50 hombres (54%) decían utilizar calzado ocasionalmente.

Tabla 16. Sexo y uso de calzado

			Sexo		Total
			Mujeres	Varones	
Uso de calzado	Siempre	Número de casos	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>42</b>
		% en función de sexo	(24/55) 44,4%	(18/39) 46,1%	(42/94) 44,7%
		% del total	(24/94) 25,5%	(18/94) 19,1%	(42/94) 44,7%
	A veces	Número de casos	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>52</b>
		% en función de sexo	(31/55) 56,5%	(21/39) 53,8%	(52/94) 55,3%
		% del total	(31/94) 31,9%	(21/94) 28,7%	(52/94) 58,5%
Total	Número de casos		<b>55</b>	<b>39</b>	<b>94</b>
	% del total		(44/94) 46,8%	(50/94) 53,2%	(94/94) 100%

### 2.2.18 Sexo y tipo de calzado

Según el tipo de calzado que usaban en el momento del diagnóstico, llevaban zapatos de plástico con más frecuencia las mujeres (45 de 61; 73,7%) que los varones (23 de 45; 51,1%) ( $p=0,02$ ) (Tabla 17). En cambio, sólo una mujer (1,6%) frente a siete hombres (15,6%) utilizaba *shera* (una especie de playeras o alpargatas con suelas de goma de neumático) como único tipo de calzado ( $p=0,005$ ), porque el calzado *shera* es mejor y por lo tanto más caro y en general más empleado por los varones.

Tabla 17. Sexo y tipo de calzado.

			Sexo		Total	
			Mujeres	Varones		
Calzado	Descalzos	Número de casos	6	6	12	
		% en función de sexo	(6/61) 9,8%	(6/45) 13,3%	(12/106) 11,3%	
		% del total	(6/106) 5,7%	(6/106) 5,7%	(12/106) 11,3%	
	Zapatos de plástico duro	Número de casos	45	23	68	
		% en función de sexo	(45/61) 73,7%	(23/45) 51,1%	(67/106) 63,2%	
		% del total	(45/106) 42,4%	(23/106) 21,7%	(67/106) 63,2%	
	Sandalias abiertas	Número de casos	9	6	15	
		% en función de sexo	(9/61) 14,7%	(6/45) 13,3%	(15/106) 14,2%	
		% del total	(9/106) 8,5%	(6/106) 5,7%	(15/106) 14,2%	
	Shera	Número de casos	1	7	8	
		% en función de sexo	(1/61) 1,6%	(7/45) 15,6%	(8/106) 7,5%	
		% del total	(9/106) 8,5%	(6/107) 5,7%	(8/106) 14,2%	
	Zapatos de cuero	Número de casos	0	3	3	
		% en función de sexo	(0/61) 0%	(3/45) 6,7%	(3/106) 2,8%	
		% del total	(0/106) 0%	(3/106) 2,8%	(3/106) 2,8%	
Total		Número de casos	61	45	106	
		% del total	(61/106) 57,5%	(45/106) 42,5%	(106/106) 100%	

### 2.2.19 Edad y uso de calzado

El porcentaje de pacientes que andaban descalzos entre los menores de 25 años (37 pacientes) fue similar al de los 69 mayores de esa edad.

Tabla 18. Edad y uso de calzado.

			Edad		Total
			7-25 años	> 25 años	
Descalzo	Ocasional	Número de casos	36	68	104
		% en función de edad	(36/37) 97,3%	(68/69) 98,6%	(104/106) 98,1%
		% del total	(36/106) 34,0%	(68/106) 64,2%	(104/106) 98,1%
	Nunca	Número de casos	1	1	2
		% en función de edad	(1/37) 2,7%	(1/69) 1,4%	(2/106) 1,9%
		% del total	(1/106) 0,9%	(1/106) 0,9%	(2/106) 1,9%
Total		Número de casos	37	69	106
		% del total	(37/106) 34,9%	(69/106) 65,1%	(106/106) 100%

### 2.2.20 Edad y tipo de calzado

No hubo diferencia significativa en cuanto al uso de calzado de plástico duro, sandalias y *shera* entre menores y mayores de 25 años (Tabla 19).

Tabla 19. Edad y tipo de calzado.

			Edad				Total	
			7-25 años		> 25 años			
Zapatos	Descalzos	Número de casos	3		9		12	
		% en función de edad	(3/37)	8,1%	(9/69)	13,0%	(12/106)	11,3%
		% del total	(3/106)	2,8%	(9/106)	8,5%	(12/106)	11,3%
	Plástico duro	Número de casos	21		47		68	
		% en función de edad	(21/37)	56,8%	(47/69)	68%	(68/106)	64.1%
		% del total	(21/106)	19,8%	(47/106)	44.3%	(68/106)	64.1%
	Cuero	Número	1		2		3	
		% en función de edad	(1/37)	2,7%	(2/69)	2,9%	(3/106)	2,8%
		% del total	(1/106)	0,9%	(2/106)	1,9%	(3/106)	2,8%
	Sandalias descubiertas	Número de casos	8		7		15	
		% en función de edad	(8/37)	21,6%	(7/69)	10,1%	(15/106)	14,2%
		% del total	(8/106)	7,5%		6,6%	(15/106)	14,2%
	Shera	Número de casos	4		4		8	
		% en función de edad	(4/37)	10,8%	(4/69)	5,8%	(8/106)	7,5%
		% del total		3,8%		3,8%	(8/106)	7,5%
Total		Número de casos	37		69		106	
		% del total	(37/106)	34,9%	(6/106)	65.1%	(106/106)	100%



Fig. 42. a) Podoconiosis en estadio 2 con edema asimétrico, después del lavado y b) vendaje y calzado en otro paciente.

### 3 Resultados de los estudios de suelos y aguas

#### 3.1 Resultados de los análisis de las muestras de suelos



Figura 43. Aspecto macroscópico del suelo

Gambo y los *kebeles* aledaños se encuentran a una altitud comprendida entre los 1.900 y los 2.700 metros sobre el nivel del mar; el índice pluviométrico oscila entre 1.000 y 2.000 mm al año con un máximo en el mes de julio. A su vez, el rango medio de temperaturas medias mensuales registradas fue de 16 °C (máxima 26,6 °C; mínima 10,4 °C).

Geológicamente, el área estudiada incluye el bosque de Munessa-Shashemane, rodeado por un cinturón de fallas y más de diez cráteres de volcanes

aparentemente dormidos. La base geológica del estudio está constituida por rocas precámbricas <sup>(133)</sup>, sobre todo ígneas y metamórficas. Su complejo basal está formado por lavas del período terciario, principalmente por *ignimbrita*. Ésta es una roca félsica (*feldespato, sílice*) compuesta de un 65% de anhídrido silícico ( $\text{SiO}_2$ ) y cantidades variables de metales alcalinotérreos como calcio y magnesio, metales alcalinos como sodio y potasio, y pequeñas cantidades de otros metales como aluminio y hierro <sup>(134, 135)</sup>.

Desde la altitud máxima de la región las pendientes se suavizan gradualmente a medida que se aproximan a los lagos Langano, Abjiata y Shalla, a unos 1.600 m de altitud. Con su agua, estos lagos crean una importante cuenca hidrográfica en la que se encuentra el bosque de Munessa-Shashemane.

Los suelos, creados por erosión de las rocas volcánicas, son en su gran mayoría de color rojizo y de textura media (grano de 500 a 250  $\mu\text{m}$ ) a alta (grano  $>500 \mu\text{m}$ ). Sólo los de las laderas bajas provienen de detritus y sedimentos depositados durante los períodos húmedos del cuaternario.

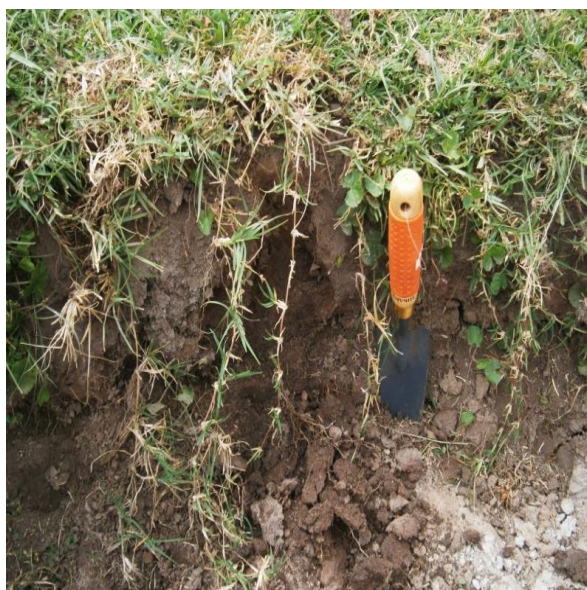


Figura 44. Recogida de muestras de suelo

Atendiendo a la Clasificación mundial de taxonomía de suelos (*World Reference Base -WRB-*), los del área de estudio se clasifican como vertisuelos máficos, nitisuelos mólicos, umbisuelos húmicos, cambisuelos mólicos y nitisuelos-úmbrico-alisuelos. Se trata de tierras compuestas principalmente por arcillas (silicatos hidratados con tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ ) y fueron estudiados con el gradiente vertical de altura <sup>(133)</sup>.

Las coordenadas geográficas del área recorrida fueron: longitud 7° 18' 20,6'' N y latitud 38° 48' 49'' E, y las muestras fueron recogidas según las normas de la *Standard Operating Procedure and quality Assurance Manual* (EPA, 1996) ([www.epa.gov/region04/sesd](http://www.epa.gov/region04/sesd)), como se indica en la Fig. 45. Al tratarse de una



población muy dispersa, fue necesario seleccionar una serie de puntos o lugares para que las muestras de suelos fueran representativas del área estudiada. Para ello, se tomaron muestras según las normas de geotecnia UNE 7371:1975 de la Asociación Española de Normas y Certificación (AENOR) en los lugares más transitados, es decir, caminos, proximidades de escuelas, zonas de cultivo y trabajo, suelos de las casas y puntos de agua de los kebeles más cercanos a Gambo (Lille, Bashako, Ashoka, Gambelto, Huluka y Bombaso), así como en los caminos que llevan hasta ellos.

En la tabla 20 se indican los puntos en los que se recogieron las muestras de suelos y aguas.

Tabla 20. Lugares de recogida de muestras de suelo.

CÓDIGO NUMÉRICO	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA	NOMBRE DEL LUGAR
1	M3010_1	30/10/2013	HULUKA
2	M3010_2	30/10/2013	HULUKA
3	M3010_3	30/10/2013	HULUKA
4	M3010_4	30/10/2013	HULUKA
5	M3110_1	31/10/2013	ASHOKA
6	M3110_2	31/10/2013	ASHOKA
7	M3110_3	31/10/2013	ASHOKA (KIMBO)
8	M3110_4	31/10/2013	ASHOKA (KIMBO)
9	M0411_1	04/11/2013	HULUKA (BOMBA)
10	M0611_1	06/11/2013	GAMBELTO
11	M0611_2	06/11/2013	GAMBELTO
12	M1111_1	11/11/2013	HULUKA (GAMBELTO)
13	M1111_2	11/11/2013	GAMBELTO
14	M1211_1	12/11/2013	GAMBELTO
15	M1311_1	13/11/2013	BASAKU
16	M1911_1	19/11/2013	BASAKU
17	M1911_2	19/11/2013	BASAKU
18	M1911_3	19/11/2013	BASAKU
19	M2011_1	20/11/2013	BASAKU
20	M2111_1	21/11/2013	ASHOKA
21	M2111_2	21/11/2013	LEPHIS RIVER
22	M2111_3	21/11/2013	LILLE
23	M2111_4	21/11/2013	LILLE
24	M2311_1	23/11/2013	GAMBO
25	M2311_2	23/11/2013	GAMBO
26	M2311_3	23/11/2013	GAMBO
27	M2311_4	23/11/2013	GAMBO
28	M2411_1	24/11/2013	LILLE
29	M2411_2	24/11/2013	LILLE
30	M2411_3	24/11/2013	LILLE
31	M1911_4	19/11/2013	BASAKU

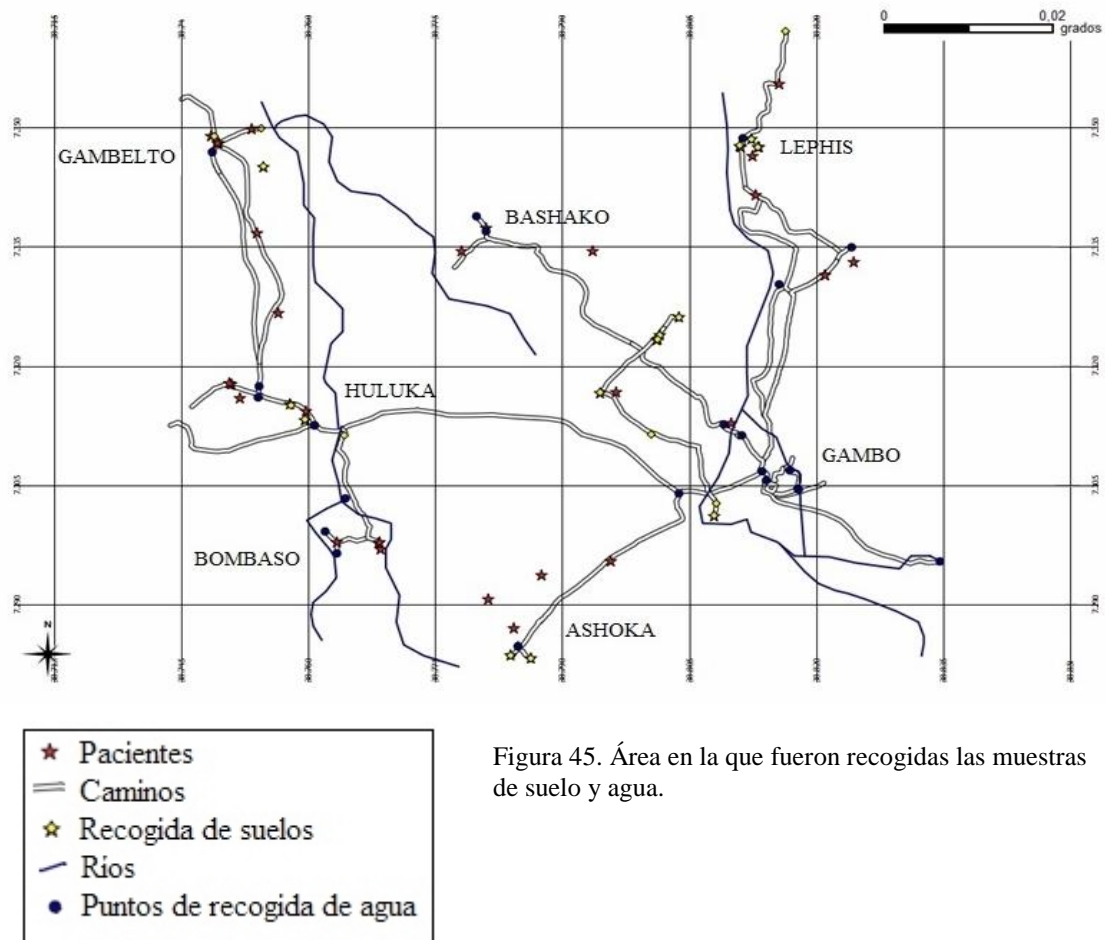


Figura 45. Área en la que fueron recogidas las muestras de suelo y agua.

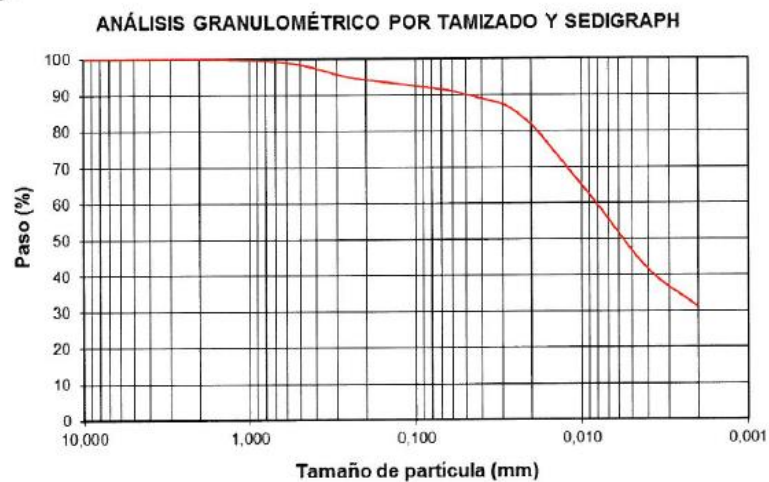
### 3.1.1 Resultados de la granulometría de suelos

Se realizó un análisis granulométrico completo mediante los Procedimientos Técnicos de Ensayo (PTE) MI 001 (tamizado) y PTE-MI-003 (Sedimentación Micromeritics® Sedigraph).

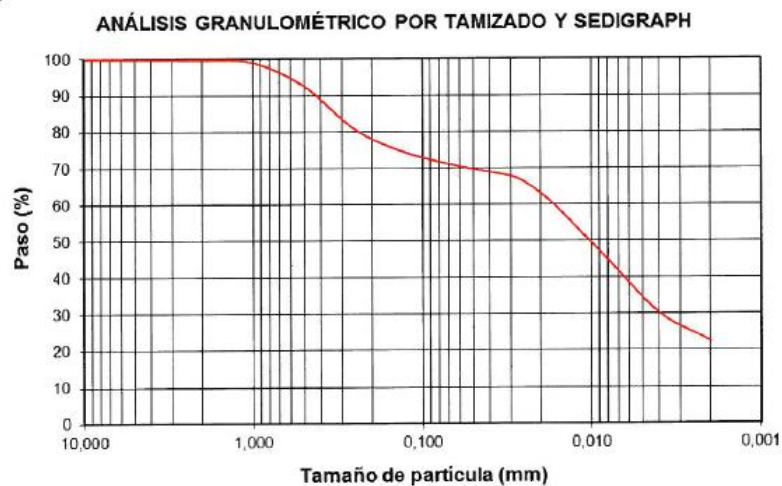
Según este análisis (figuras 46 y 47), las partículas son de un tamaño inferior a 1 milímetro en todas las muestras, y en muchos casos más del 90% de las partículas tiene un diámetro inferior a 0,1 mm, propio de los terrenos arcillosos.



M3010\_4



M3110\_4



M1111\_1

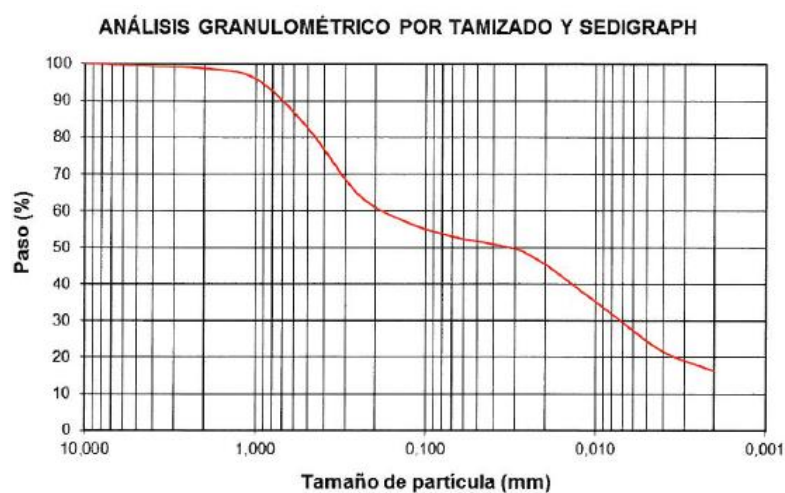


Figura 46. Resultado del análisis granulométrico de las muestras de suelo.

M1911\_3

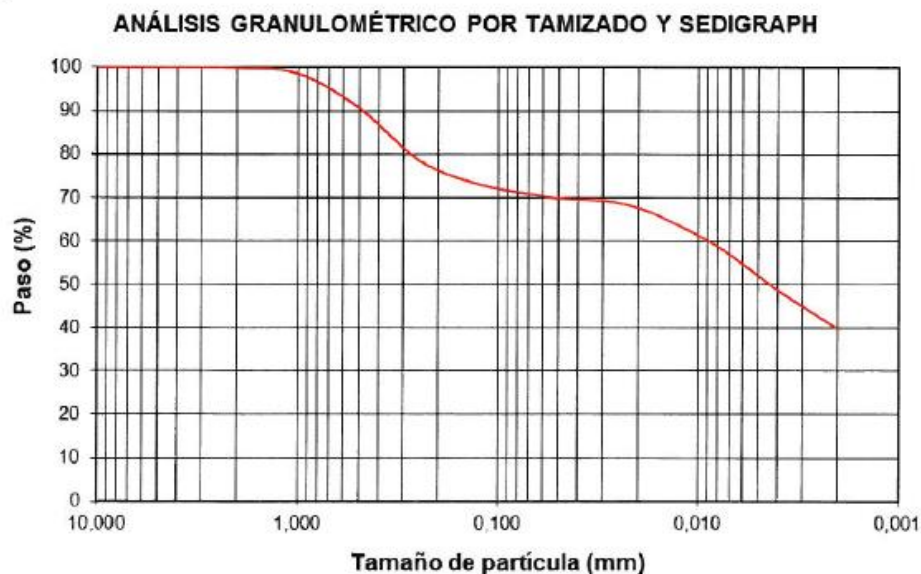


Fig. 47. Resultado de la granulometría de las muestras de suelo.

### 3.1.2 Determinaciones químicas de los suelos

Tras la digestión de las muestras con fluoruro de hidrógeno (HF), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido tetraoxiclórico ( $\text{HClO}_4$ ) concentrados, hasta conseguir su sequedad y la posterior disolución del residuo con  $\text{HNO}_3$  al 6%, se determinó su composición mediante espectrometría de absorción atómica acoplada inductivamente (ICP-AES) con un equipo Agilent 7500 ce. Así se analizaron: a) elementos mayoritarios (silicio, aluminio, hierro, calcio, titanio, manganeso, potasio, magnesio y fósforo) mediante fluorescencia de rayos X con un equipo *Pananalytical MagiX*; b) elementos traza (Be, V, Co, Ni, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Ti, Pb, Th y U) por ICP-MS; y c) determinación cuantitativa de  $\text{Na}^+$  por espectrofotometría de absorción atómica.

#### Elementos mayoritarios

En el análisis del suelo para determinar el contenido mineral se constató el gran predominio de arcillas complejas como la illita (filosilicato, silicato laminar, del grupo de las micas) y sencillas como el caolín, con un tamaño de partícula menor de dos micras, con un porcentaje medio del 74,85 %, (Tabla 21; Fig. 48). Los otros minerales mayoritarios fueron cuarzo y feldespato potásico aunque en concentraciones inferiores (porcentajes medios de 12 y 13,17%, respectivamente).

Tabla 21. Illita, caolín, cuarzo y feldespato potásico en seis muestras de suelos.

	PORCENTAJE (%)	ARCILLAS		OTROS MINERALES	
	TOTAL ARCILLAS	ILLITA	CAOLIN	CUARZO	FELDESPATO POTASICO
M3010_4	85	45	40	11	4
M3110_4	65	45	20	18	17
M1111_1	83	83	0	6	11
M1911_3	77	38	39	16	7
M2111_2	57	35	22	13	30
M2311_3	82	54	28	8	10
PROMEDIO	74,83	50,00	24,83	12,00	13,17

Illita:  $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$ .  
 Caolín:  $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$  (disilicato aluminico hidratado)

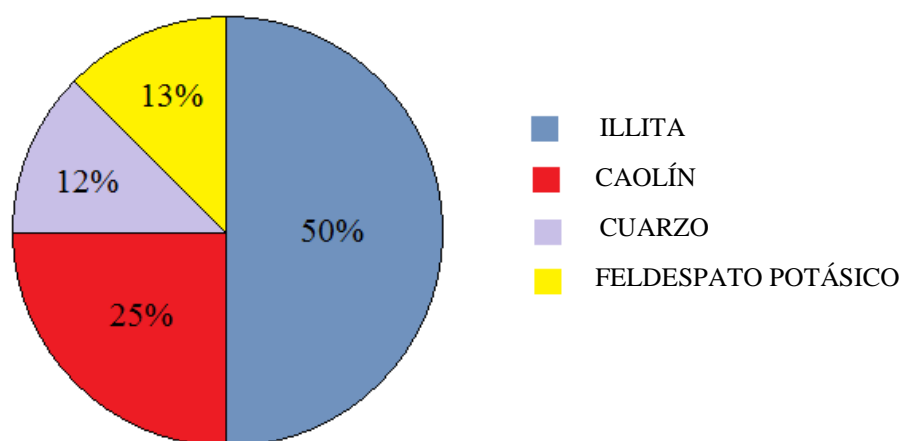


Fig. 48. Arcillas (illita + caolín), cuarzo y feldespato potásico en las muestras.

Como se aprecia en el gráfico, en el suelo predominan las arcillas, con una media del 74,85%, llegando al 83% en algunas muestras, y sobre todo illita y caolín. Excluido el componente arcilloso, en la tabla 22 se muestra el contenido medio de cuarzo ( $SiO_2$ ) del 57,73% (máximo 72,23%, mínimo 43,88%) y feldespato potásico, media 13,17% (máximo 30%, mínimo 4%) en las muestras analizadas.

	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	$TiO_2$	MnO	$K_2O$	MgO	$P_2O_3$	$Na_2O$	PPC
Media	57,73	12,56	7,15	1,48	0,94	0,30	2,51	0,94	0,23	1,71	15,41
Máx	72,23	17,06	11,06	4,73	1,8	0,61	3,52	3,28	0,64	3,22	30,91
Mín	43,88	8,25	4,07	0,64	0,48	0,13	1,56	0,5	0,05	0,98	4,41

Tabla 22. Elementos mayoritarios excluidas arcillas: Cuarzo, silicatos y óxidos metálicos (en  $\mu g/g$ ).

En suma, globalmente se trata de suelos con un elevado contenido en arcillas y óxidos metálicos, especialmente de aluminio y hierro, y en menor proporción de óxidos de calcio, titanio, manganeso, potasio, magnesio, fósforo y sodio.

A continuación se representan las gráficas de distribución espacial según el contenido porcentual de los elementos mayoritarios en las muestras de suelo (Figs. 49, 50 y 51).

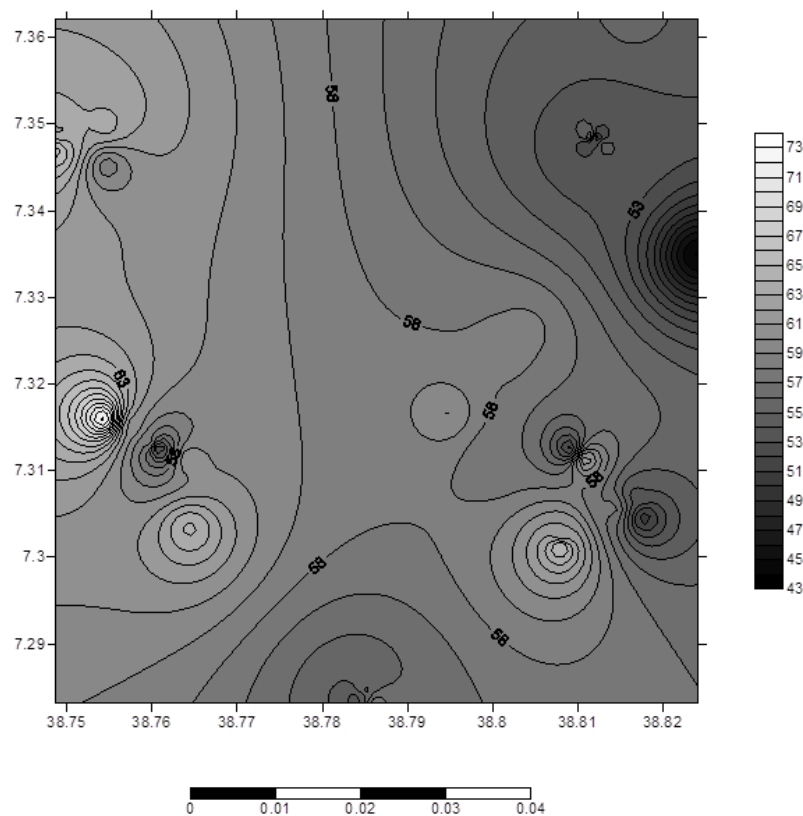


Figura 49 . Distribución espacial de sílice en el área de estudio. En el eje de abscisas se expresa la longitud en grados y en el de ordenadas la latitud, según las coordenadas GPS. Las concentraciones se expresan en %.

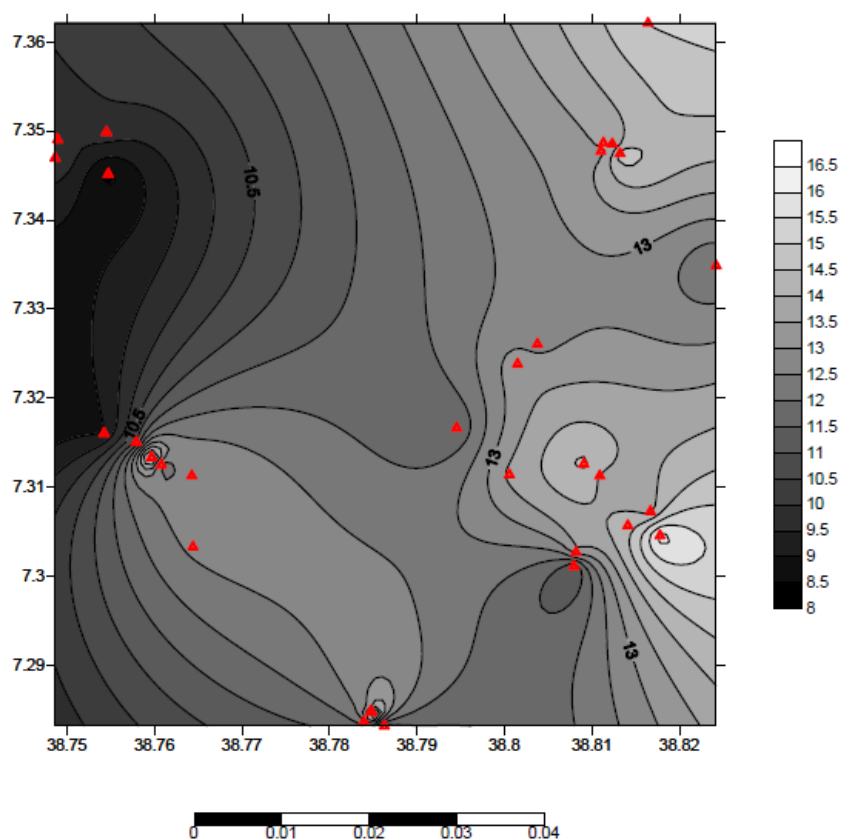


Figura 50. Distribución espacial de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en el área de estudio. En el eje de abscisas se expresa la longitud en grados y en el de ordenadas la latitud, según las coordenadas GPS. Las concentraciones se expresan en %.

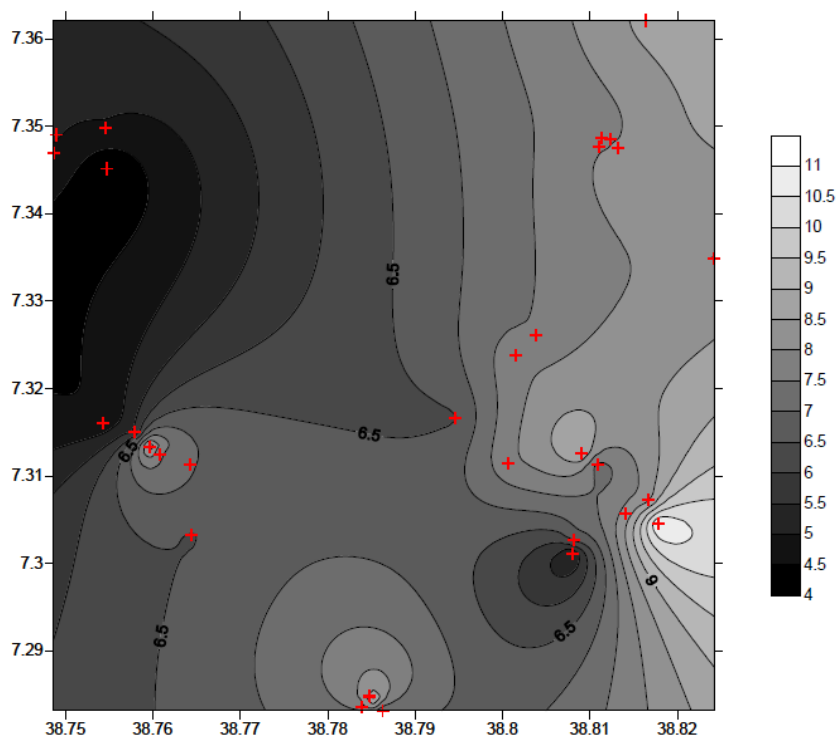


Figura 51. Distribución espacial de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en el área de estudio. En el eje de abscisas se expresa la longitud en grados y en el de ordenadas la latitud, según las coordenadas GPS. Las concentraciones se expresan en %.

### Elementos traza en los suelos

Las concentraciones de Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Ti, Pb, Th y U en las muestras de suelo determinadas mediante “espectrometría de plasma acoplado inductivamente con detección de masas” (ICP-MS) se muestran en la figura 52.

Destacan las concentraciones medias (en  $\mu\text{g/g}$ ) de los siguientes elementos: Berilio:  $4,57 \pm 1,7 \mu\text{g/g}$ ; Bario:  $268,2 \pm 142,8$ ; Cinc:  $176,1 \pm 127,9$ ; Vanadio:  $72,9 \pm 85,1$ ; Cromo:  $46,2 \pm 59,8$ ; Níquel:  $38,3 \pm 27,3$ ; Plomo:  $23,1 \pm 14,9$ ; Cobalto:  $15 \pm 20,6$ ; Cobre:  $17,5 \pm 13,7$ ; Torio:  $16,9 \pm 8,1$ ; Circonio: 632- 1052  $\mu\text{g/g}$ ; media 920  $\mu\text{g/g}$ , y Uranio:  $2 \pm 1,5 \mu\text{g/g}$ .

En los suelos derivados de rocas volcánicas suele existir una buena correlación entre berilio y sílice <sup>(136-138)</sup>, y la concentración de ambos en nuestras muestras ( $4,57 \pm 1,7 \mu\text{g/g}$  y  $57,7 \pm 14\%$ , respectivamente) coincide con lo descrito en la literatura (0,01-8 ppm y  $61 \pm 12\%$ , respectivamente).

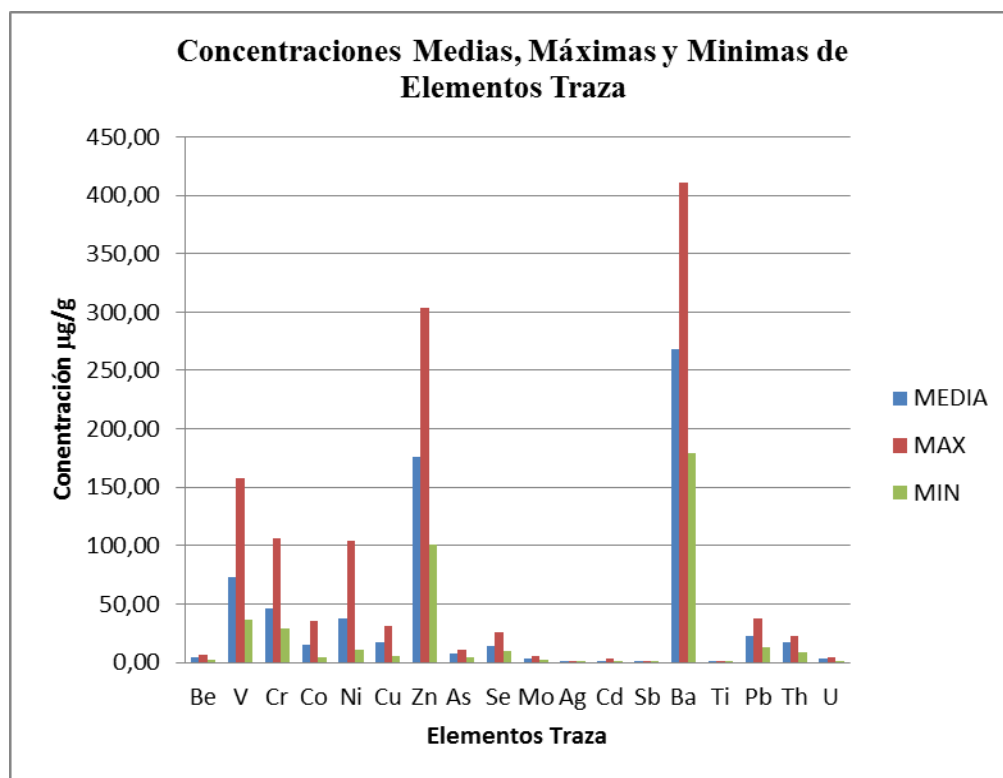


Fig 52. Elementos traza (en  $\mu\text{g/g}$ ) en las muestras de suelos.

Como se observa, destacan las altas concentraciones de vanadio, cromo, cinc y bario.

A su vez, en la Figura 53 se recogen las concentraciones de **circonio** en las muestras de suelos.

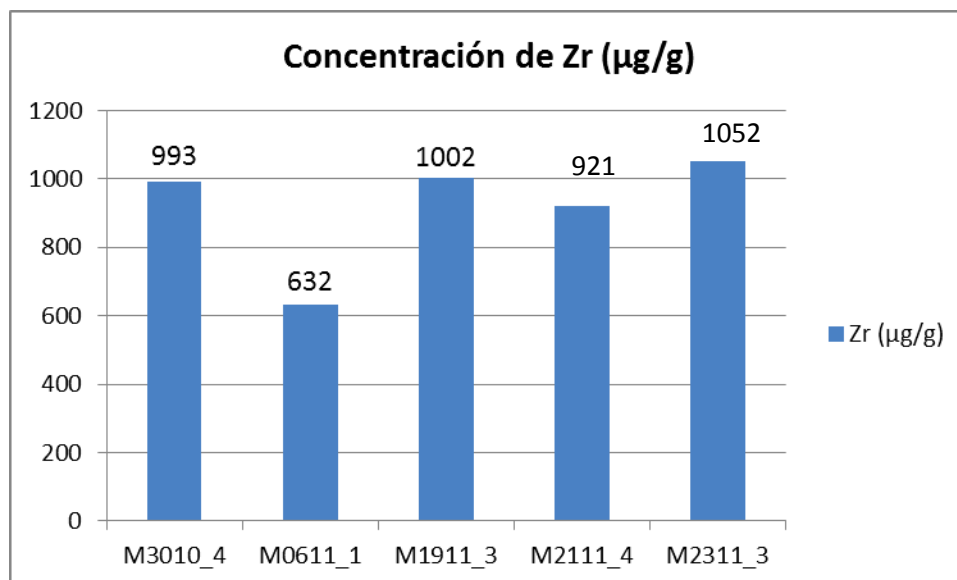


Fig. 53. Circonio (µg/g) en las muestras de suelos.

La concentración de Zr en los suelos va desde 5 hasta 1.060 µg/g (media 230 µg/g) y en las aguas desde 0,002 hasta 2,41 µg/litro. En las rocas que contienen circonio también suelen encontrarse pequeñas cantidades de uranio y torio, lo que se confirma en las muestras de suelos analizados <sup>(139)</sup>.

### 3.2 Análisis de las muestras de agua

#### 3.2.1 pH, conductividad eléctrica, aniones, cationes, sílice, nitritos, nitratos y caracterización de las aguas para riego

Las muestras de aguas se recogieron en puntos estratégicos, fundamentalmente de pozos, ríos y fuentes donde se abastecen los habitantes de la región.

Los resultados de pH y conductividad eléctrica (en microSiemens por centímetro, µS/cm) se muestran en la tabla 24 y en las figuras 54 y 55.

CÓDIGO NUMÉRICO	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA	NOMBRE DEL LUGAR
1	A3010_1	30/10/2013	HULUKA
2	A3010_2	30/10/2013	HULUKA
3	A3010_3	30/10/2013	HULUKA
4	A3110_1	31/10/2013	ASHOKA
5	A1411_1	14/11/2013	ASHOKA
6	R1411_1	14/11/2013	ASHOKA
7	A0611_1	06/11/2013	GAMBELTO
8	A0611_BOMBA	06/11/2013	GAMBELTO
9	CASCADA	15/11/2013	BOMBASO
10	A0711_1	07/11/2013	BOMBASO
11	A1311_1	07/11/2013	ASHOKA
12	RIOSITE	22/11/2013	BOMBASO
13	A2211_1	17/11/2013	BOMBASO
14	A2311_1	17/11/2013	BASAKU
15	A2311_2	17/11/2013	BASAKU
16	R2311-1	19/11/2013	LILLE
17	R2311-2	19/11/2013	LILLE
18	A2311-4	19/11/2013	LILLE
19	R2411-1	19/11/2013	LEPHIS RIVER

Tabla 23. Puntos de recogida de las muestras de agua

## **pH**

La media del valor del pH fue  $6,57 \pm 0,25$  (máximo 6,82; mínimo 6,38) (Fig. 54). Si se tiene en cuenta que los límites de potabilidad de un agua van desde 6,5 hasta 8,5, la muestra A3010-1, con pH 6,38, no cumplía esa cualidad y otra (A3010-2) con pH 6,5 estaba justo en el límite inferior<sup>(140)</sup>.

Muestra	pH	C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
A1311_1	6,82	139
A3110_1	6,60	187
A3110_2	6,50	118
A2011_1	6,54	110
A3010_1	6,38	131
Media	6,57	137

Tabla 24. pH y Conductividad eléctrica (CE) de las muestras de aguas



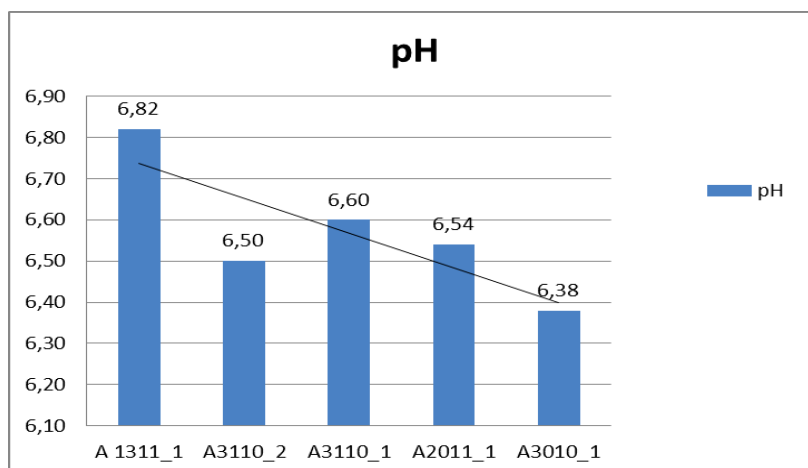


Figura 54. pH de las aguas en las muestras analizadas.

### **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) de una solución, o capacidad para permitir el paso de la corriente eléctrica, es proporcional a la concentración de los sólidos e iones disueltos y se mide en microSiemens o miliSiemens por cm. La CE del agua pura es 0,055  $\mu\text{S/cm}$ ; la del agua destilada 0,5  $\mu\text{S/cm}$ ; la de montaña es 1,0  $\mu\text{S/cm}$ ; la de uso doméstico 500-800  $\mu\text{S/cm}$ ; la máxima CE para agua potable 10.055  $\mu\text{S/cm}$  y la del agua de mar es 52 mS/cm.

Suele existir correlación entre la CE y la dureza de un agua, cualidad determinada en un 90% por la concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), principal sal disuelta sobre todo si el pH es mayor que 8. Así, el grado de dureza del agua de bebida puede clasificarse en función de la concentración de  $\text{CaCO}_3$  tal como sigue: “blanda” 0-60 mg/l, “media” 60-150 mg/l, “dura” 150-300 mg/l, y “muy dura” si la concentración de  $\text{CaCO}_3$  es  $>300$  mg/l <sup>(141)</sup>.

Simultáneamente, un agua se considera “muy blanda” si su CE es inferior a 140  $\mu\text{S/cm}$ ; “blanda” si está entre 140 y 300  $\mu\text{S/cm}$ ; “ligeramente dura” si está entre 300 y 500  $\mu\text{S/cm}$ ; “moderadamente dura” si está entre 500 y 640  $\mu\text{S/cm}$ ; “dura” si está entre 640 y 840  $\mu\text{S/cm}$ , y “muy dura” si su CE supera los 840  $\mu\text{S/cm}$ .

La CE en las muestras de aguas recogidas en Gambo estaba entre 110 y 187  $\mu\text{S/cm}$  (Fig. 55), propia de aguas blandas.

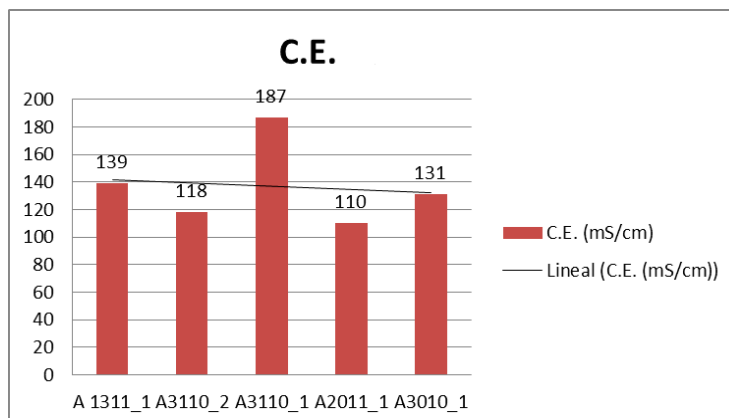


Figura 55. Conductividad eléctrica de las muestras de agua.

### Concentración de aniones y cationes en las muestras de agua

Los iones principales del agua (con concentraciones entre 1,0 y 1.000 mg/l) son: sodio, calcio, magnesio, potasio, bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloro y sílicato ( $\text{SiO}_4$ ); y los constituyentes secundarios (de 0,01 a 10,0 mg/l): hierro, estroncio, potasio, carbonato, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), flúor y boro <sup>(141)</sup>.

ANIONES (mg/l)						
MUESTRA	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SiO}_4^{4-}$
A 1311_1	8	4	61	0	10	25,5
A3110_2	16	6	30	0	18	42,3
A3110_1	16	8	97	0	0,5	57
A2011_1	17	4	13	0	38	56
A3010_1	19	3	29	0	39	64,8
<b>MEDIA</b>	<b>15,2</b>	<b>5</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>21,1</b>	<b>49,12</b>

ANIONES (mg/l)					
MUESTRA	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{F}^-$	$\text{CN}^-$
A 1311_1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,01
A3110_2	0,05	0,05	0,05	0,5	0,01
A3110_1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,01
A2011_1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,01
A3010_1	0,05	0,05	0,05	0,5	0,01
<b>MEDIA</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,5</b>	<b>0,01</b>

Tabla 25. Concentraciones de aniones en las muestras de agua analizadas.

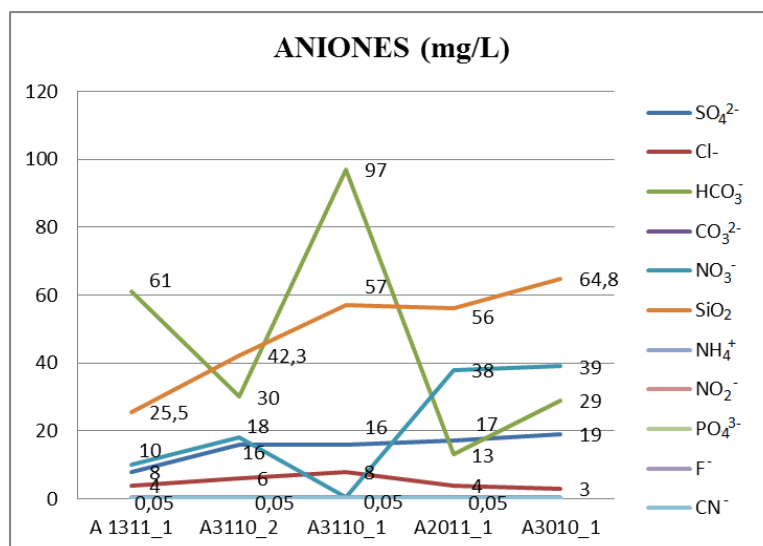


Figura 56. Concentraciones de aniones en las aguas analizadas.

A su vez, las concentraciones de aniones y cationes se muestran en las tablas 25 y 26 y en las figura 56 y 57.

CATIONES (mg/L)				
MUESTRA	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
A 1311_1	7	6	3	16
A3110_2	11	8	2	10
A3110_1	27	10	3	9
A2011_1	12	3	3	8
A3010_1	14	5	2	15
<b>MEDIA</b>	<b>14,2</b>	<b>6,4</b>	<b>2,6</b>	<b>11,6</b>

Tabla 26. Concentraciones de cationes en las aguas analizadas.

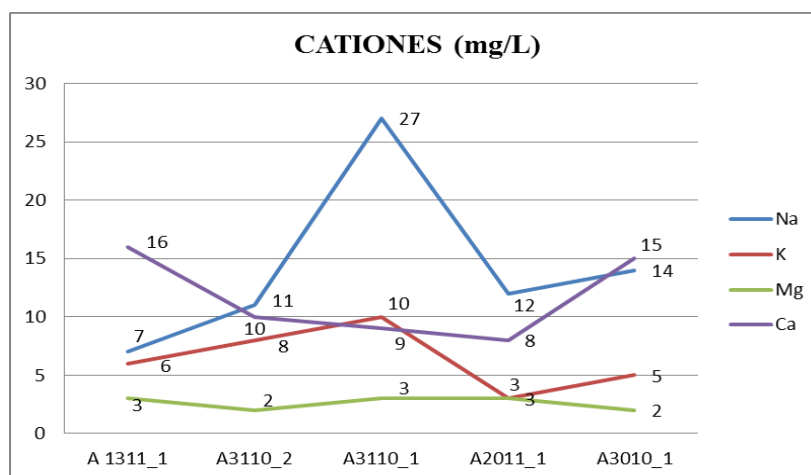


Figura 57. Concentraciones de cationes en las aguas.

Las concentraciones de sodio (entre 7 y 27 mg/l) y potasio (entre 3 y 10 mg/l) en las muestras de agua se encontraban dentro de los límites descritos en la literatura (sodio: 8-19 g/l; potasio: 1,5-12 mg/l). Sin embargo, las de magnesio (entre 2 y 3 mg/l) y calcio (entre 8 y 16 mg/l) estaban en el rango inferior de lo descrito (magnesio: 2-30 mg/l; calcio: 10-85 mg/l).

### **Concentraciones de sílice amorfa ( $\text{SiO}_2$ ), nitritos y nitratos en las aguas**

Las concentraciones de sílice en las muestras de agua se encontraban entre 25,5 y 64,8  $\mu\text{g/l}$  (Fig. 58), con una media de 49,12  $\mu\text{g/l}$ .

A su vez, la concentración de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) 0,05 mg/l y nitratos ( $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ) 0,05 mg/l, están dentro del rango de potabilidad (<0,1 mg/l y <10 mg/l, respectivamente).

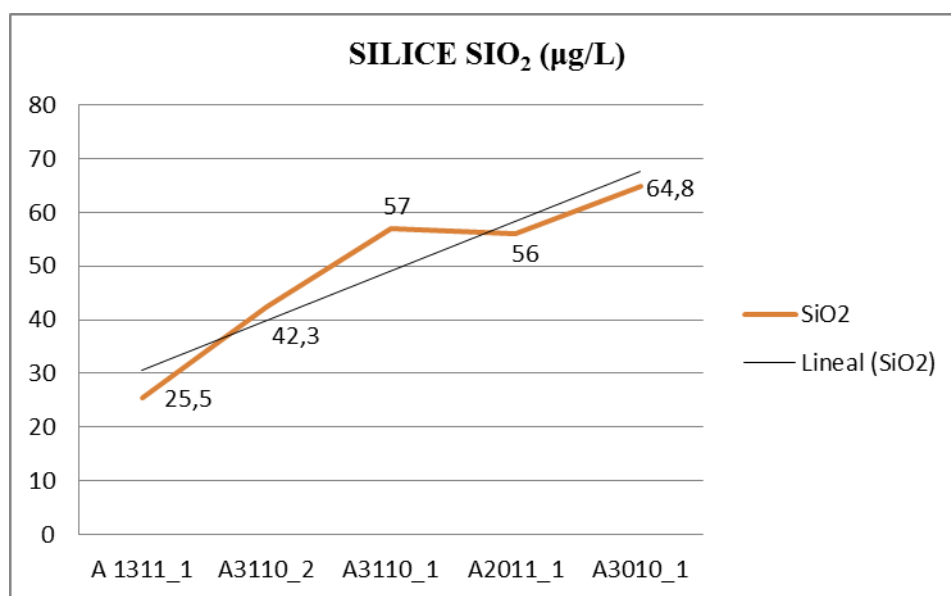


Fig. 58. Concentración de sílice en las muestras de agua analizadas.

### **3.2.2 Concentraciones de elementos traza en las aguas**

Son elementos traza aquellos cuya concentración en el agua es inferior a 1 mg/l. Esta concentración depende del origen del elemento, su transporte, transformación (por ejemplo en función de la temperatura) y los procesos de eliminación como sedimentación, captación biológica e interacción con la matriz orgánica. Que un

elemento se encuentre como traza en aguas naturales no significa que sea así en minerales o rocas. Por ejemplo, el hierro, aluminio o titanio son elementos mayores en las rocas, pero sólo como traza en las aguas. Y a la inversa, elementos traza en las rocas como el cloro y el carbono, son elementos mayores en las aguas.

En la tabla 27 y las figura 59 se muestran las concentraciones de elementos traza en las aguas analizadas.

MUESTRA	Be	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co
A 1311_1	0,05	212,00	0,96	0,30	2,89	141,00	0,05
A3110_2	0,07	210,00	1,82	0,55	2,98	213,00	0,05
A3110_1	0,05	55,30	1,48	0,20	4,74	87,40	0,19
A2011_1	0,28	1077,00	1,28	1,70	4,28	532,00	0,05
A3010_1	0,35	48,50	0,56	0,33	1,20	28,20	0,05
MAX	0,35	1077	1,82	1,7	4,74	532	0,19
MIN	0,05	48,5	0,56	0,2	1,2	28,2	0,05
MEDIA	0,16	320,56	1,22	0,62	3,22	200,32	0,08

MUESTRA	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag
A 1311_1	0,60	0,70	2,00	0,14	0,5	0,46	0,05
A3110_2	0,91	0,70	3,19	0,15	0,5	0,34	0,05
A3110_1	2,47	0,72	3,09	0,39	0,5	0,71	0,05
A2011_1	1,33	0,41	6,40	0,78	0,5	0,2	0,05
A3010_1	4,83	0,41	9,67	0,10	0,5	0,2	0,05
MAX	4,83	0,72	9,67	0,78	0,5	0,71	0,05
MIN	0,6	0,41	2	0,1	0,5	0,2	0,05
MEDIA	2,03	0,59	4,87	0,31	0,5	0,38	0,05

MUESTRA	Cd	Sb	Ba	Hg	Ti	Pb	Th	U
A 1311_1	0,2	0,05	20,3	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05
A3110_2	0,2	0,05	24,1	0,5	0,05	0,24	0,05	0,05
A3110_1	0,2	0,05	31,5	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05
A2011_1	0,2	0,05	24,4	0,5	0,05	0,56	0,17	1,3
A3010_1	0,2	0,12	4,27	0,5	0,05	0,2	0,05	0,08
MAX	0,2	0,12	31,5	0,5	0,05	0,56	0,17	1,3
MIN	0,2	0,05	4,27	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05
MEDIA	0,2	0,06	20,91	0,5	0,05	0,28	0,07	0,31

Tabla 27. Elementos traza (en µg/l) en las aguas analizadas.

En las concentraciones medias de elementos traza en las muestras de agua destacan las siguientes: aluminio (48,5 - 1077 µg/l; media: 320 µg/l); arsénico (0,1 – 0,78 µg/l; media 0,31); bario (4,27 – 31,5 µg/l; media: 20,91); hierro (28,2-532 µg/l; media 200); níquel (0,6 - 4,83 µg/l; media: 2,03); plomo (0,2 – 0,56 µg/l; media: 0,28 µg/l); uranio

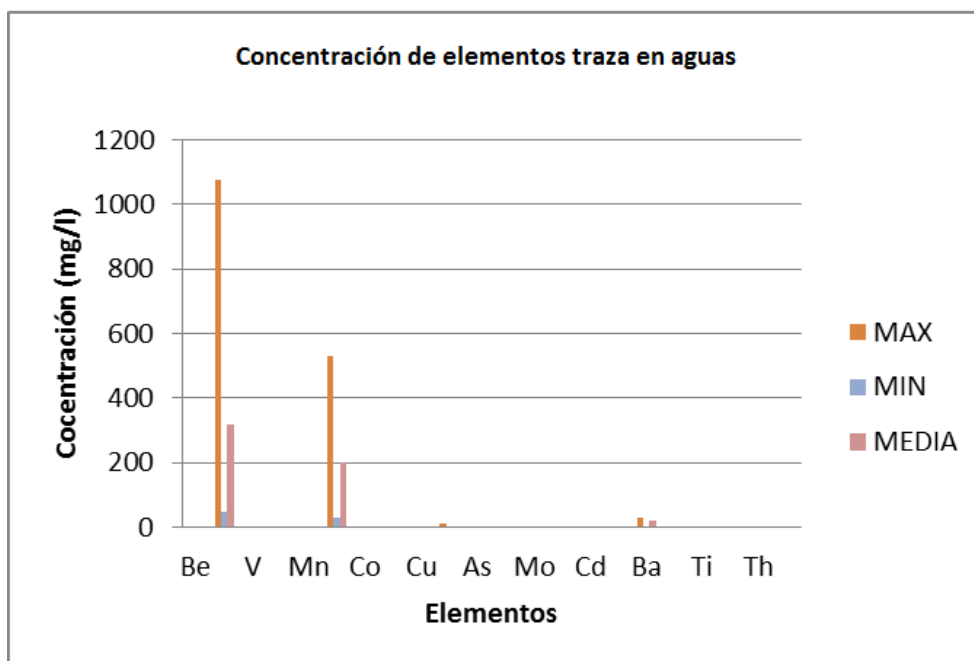
(0,05 – 1,3  $\mu\text{g/l}$ ; media 0,31  $\mu\text{g/l}$ ) y cinc (2 – 9,67  $\mu\text{g/l}$ ; media: 4,87). Asimismo, también se apreciaron concentraciones significativas de manganeso (1,6-4,8  $\mu\text{g/l}$ ; media 3,1); cromo (0,2-1,8; media 1,8  $\text{mg/l}$ ) y vanadio (0,4-1,9; media 1,4  $\text{mg/l}$ ).

Salvo aluminio, arsénico, plomo, hierro, torio y uranio, los demás elementos traza estaban dentro de los límites observados en otras latitudes <sup>(143-146)</sup>.

Otro parámetro a considerar en las aguas es la Máxima Concentración Contaminante (MCC) según la *Environmental Protection Agency* (EPA) (*Table of Regulated Drinking Water Contaminants. Inorganic contaminants. Environmental Protection Agency, EPA; EEUU; 2015*) en función de la concentración de elementos traza, que no deben superar las cifras siguientes: aluminio: 10  $\mu\text{g/l}$ ; arsénico: cero; bario: 200  $\mu\text{g/l}$ ; berilio: 4  $\mu\text{g/l}$ ; cadmio: 5  $\mu\text{g/l}$ ; cromo: 10  $\mu\text{g/l}$ ; plomo: cero; manganeso: 50  $\mu\text{g/l}$ ; hierro: 300  $\mu\text{g/l}$ ; níquel: 5  $\mu\text{g/l}$ ; torio: cero; uranio: cero, y cinc: 50  $\mu\text{g/l}$ .

Es decir, las concentraciones de aluminio, arsénico, plomo, torio y uranio (con 1,3  $\mu\text{g/l}$  en una de las muestras) están por encima de la MCC. Además, la muestra A2011-1 también contenía una concentración de hierro (532  $\mu\text{g/l}$ ) superior a la MCC (<300) recomendada por la EPA.

a)



b)

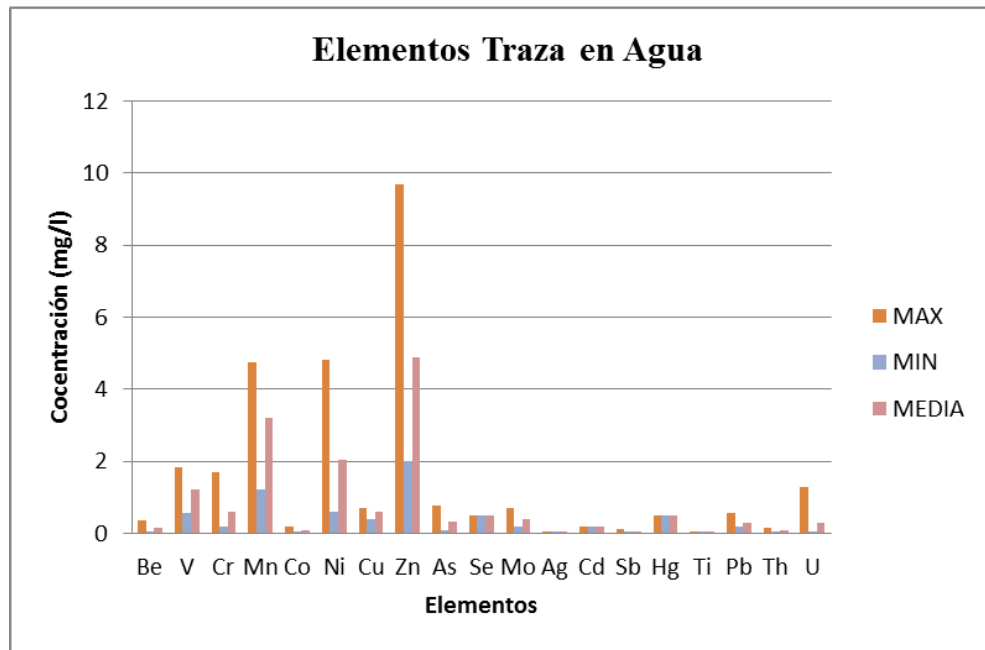


Figura 59. a) Concentraciones de elementos traza en las aguas analizadas y b) Elementos traza en las aguas analizadas.

## Caracterización de las aguas para riego

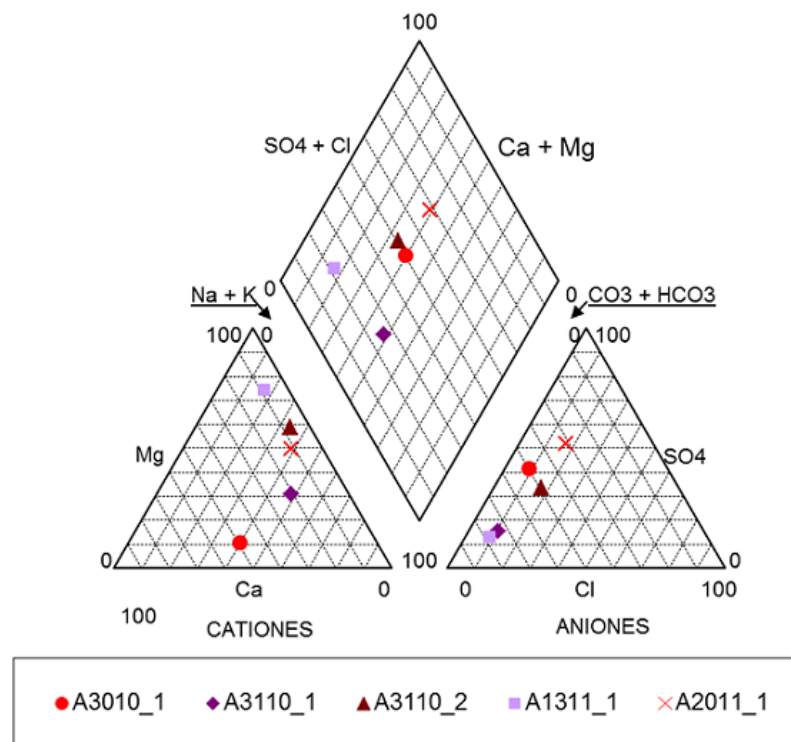


Fig. 60. Caracterización de las aguas de riego. Diagrama de Piper en las aguas de Gambo

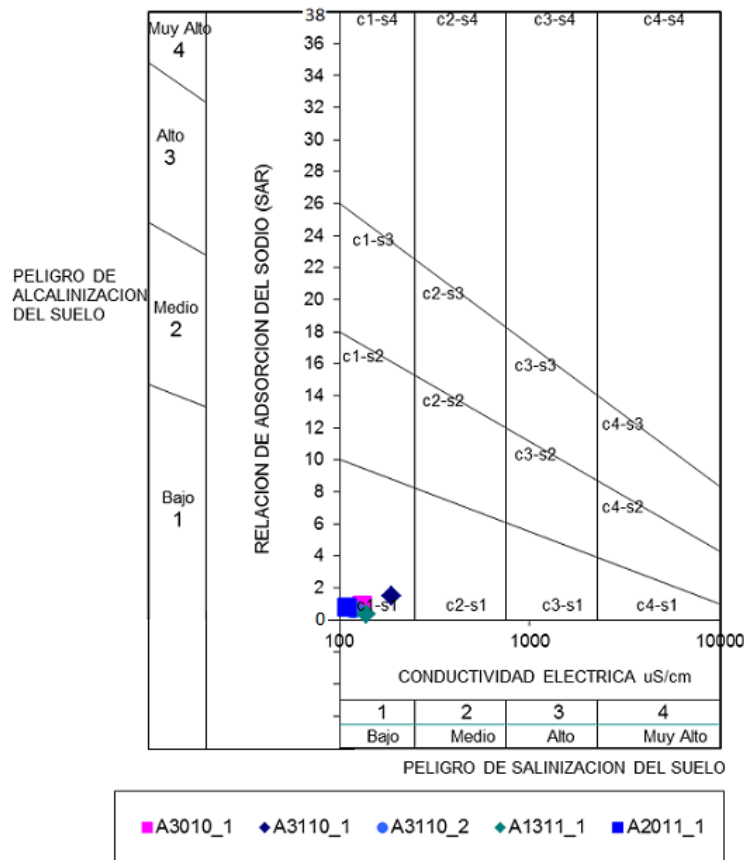


Figura 61. Características del agua para riego en el área de Gambo.

Tras el análisis de las características de las aguas se comprobó que se trataba de aguas con tasas bajas de salinización y de alcalinización, una conductividad eléctrica baja, un pH neutro y relación de adsorción del sodio asimismo muy baja, lo que las hacía de alta calidad para el riego (Figs. 60 y 61).



## 4 Resultado del estudio de biopsias

### 4.1 Metales traza

Se determinaron elementos traza en dos biopsias tomadas en dos pacientes de *kebeles* diferentes, Ashoka y Bombasho. Las concentraciones de los elementos encontrados en estas biopsias se muestran en la tabla 28 y en la figura 62. Destacan las concentraciones de cinc (32,7  $\mu\text{g/g}$  y 26,8  $\mu\text{g/g}$ ), bario (1,2  $\mu\text{g/g}$  y 1,25  $\mu\text{g/g}$ ) y cobalto en uno de los pacientes (0,11  $\mu\text{g/g}$ ), frente a una media inferior a 0,1  $\mu\text{g/g}$  del resto de elementos (salvo selenio -0,64  $\mu\text{g/g}$  y molibdeno -0,49  $\mu\text{g/g}$ ).

En cuanto al circonio (Zr), su determinación no fue posible debido al tiempo transcurrido desde la toma de la biopsia hasta su análisis; y, por otro lado, al tratarse de un elemento muy poco solubilizable, es difícil que pueda aparecer libre en el agua y ser adsorbido por la piel.

MUESTRA	CONCENTRACIÓN ( $\mu\text{g/g}$ )	
	B1-ASHOKA	B2-BOMBASHO
Be	< 0,1	< 0,1
V	< 0,1	< 0,1
Cr	< 1	< 1
Co	0,11	< 0,1
Ni	< 0,5	< 0,5
Cu	< 0,1	< 0,1
Zn	32,7	26,8
As	< 0,1	< 0,1
Se	0,64	< 0,5
Mo	0,49	0,84
Ag	< 0,1	< 0,1
Cd	< 0,2	< 0,2
Sb	< 0,1	< 0,1
Ba	1,2	1,25
Ti	< 0,1	< 0,1
Pb	< 1	< 1
Th	< 0,1	< 0,1
U	< 0,1	< 0,1

Tabla 28. Metales en las biopsias.

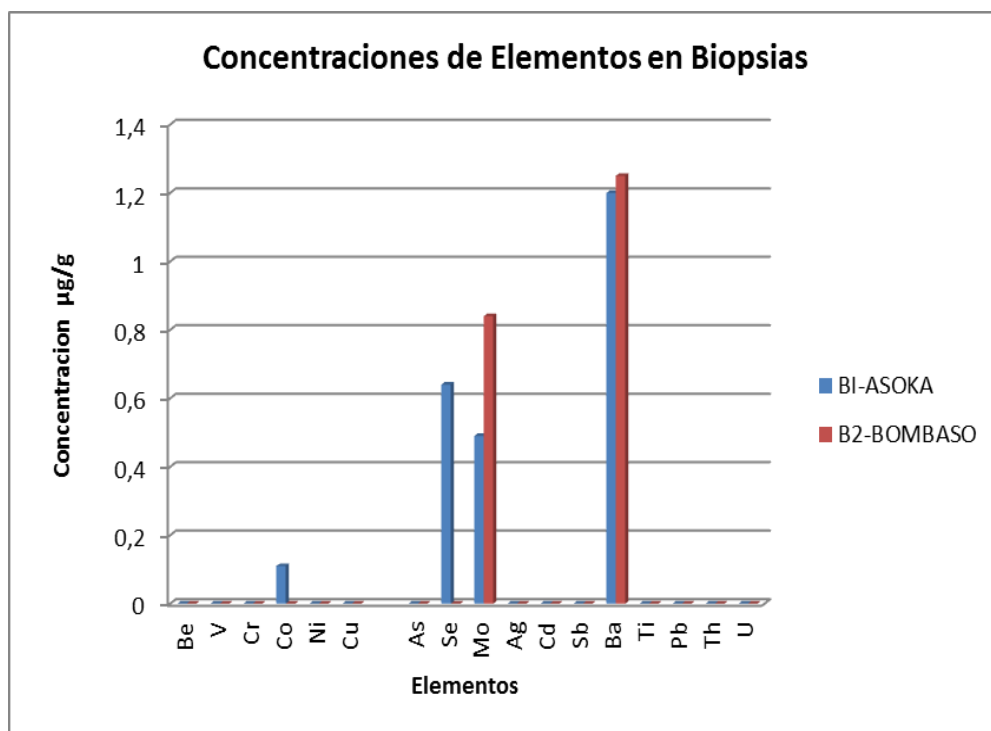
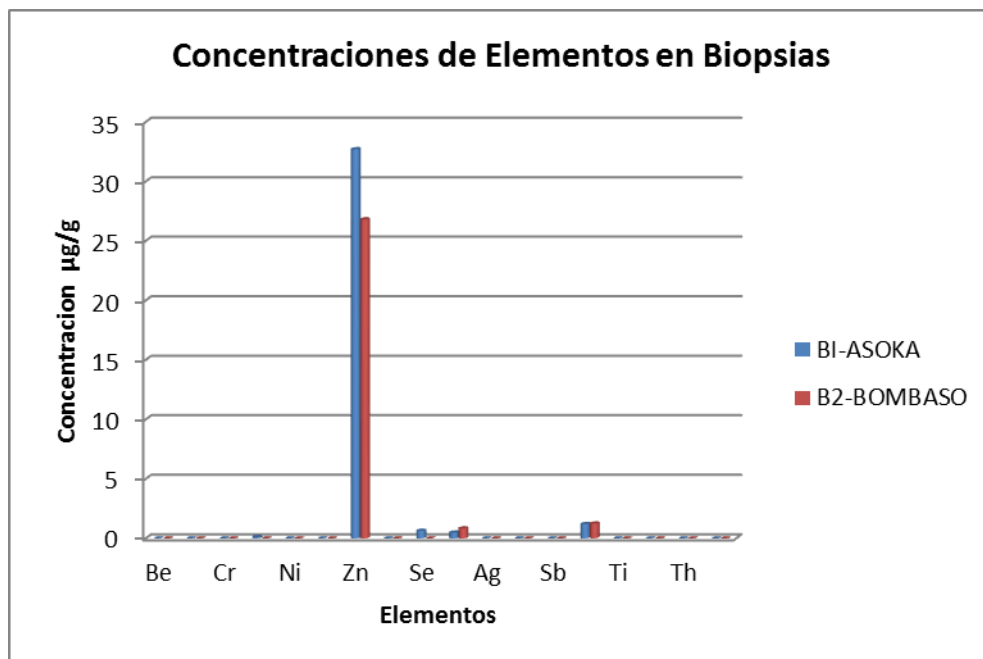


Figura 62. Elementos traza en las biopsias

#### 4.2 Anatomía patológica

En las biopsias cutáneas realizadas en dos pacientes, se pudo observar en ambas una hiperplasia epidérmica con importante expansión fibrosa de la dermis en la vista panorámica (Fig. 64a); y a mayores aumentos, una proliferación y ectasia de los vasos linfáticos (Fig. 64b), así como fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas (Fig. 64c) y un infiltrado linfoplasmocitario perivascular (Fig 64d).

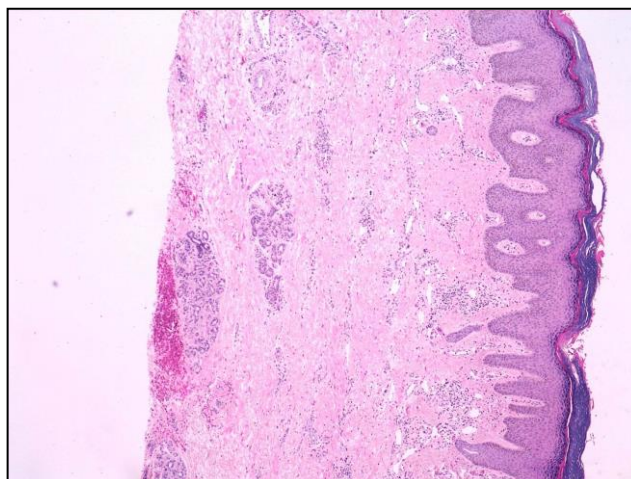


Figura 63. Vista panorámica [10x] de una biopsia cutánea (paciente 1).

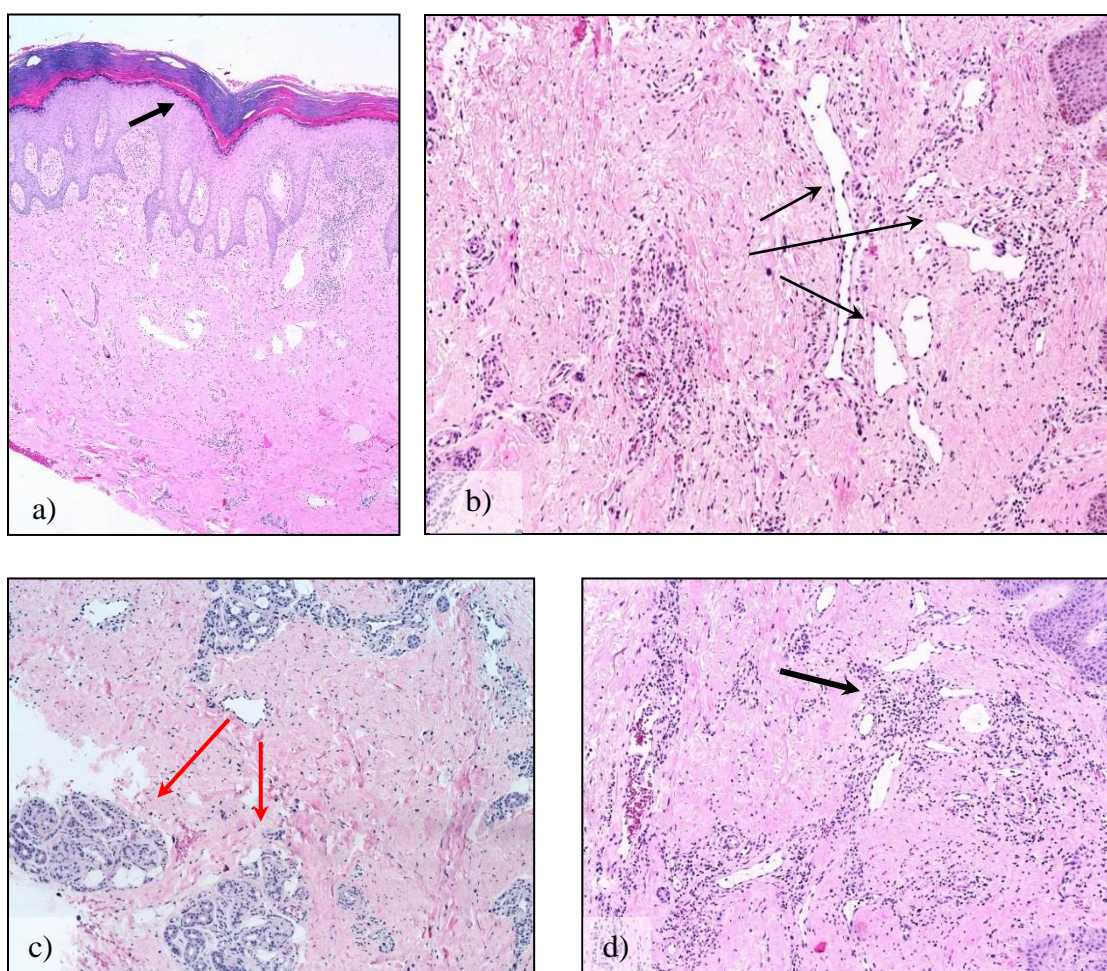


Figura 64. Hematoxilina-eosina. a) [10x]: Hiperplasia epidérmica con importante expansión fibrosa de la dermis (flecha negra corta); b) [40x]: Proliferación y ectasia de los vasos linfáticos (flechas negras largas). c): Fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas (flechas rojas) [40x]. y d): Infiltrado linfoplasmocitario perivascular.

### 4.3 Dermatofitos

Se tomaron muestras para cultivo de dermatofitos en aquellos pacientes con lesiones verrucosas o despigmentación en forma de placas blanquecinas sugerentes de sobreinfección fúngica. Así, se tomaron muestras en 19 pacientes de los 106 con podoconiosis (17,9%), siendo positivo el cultivo para hongos en 17 de las 19 (89,5%) muestras. Se encontraron dermatofitos en 12 pacientes: *Trichophytum rubrum* (n=4), *T verrucosum* (n=3), *T violaceum* (n=2), *T tonsurans* (n=1), *T verrucosum* y *Microsporum audouinii* (n=1). En cinco pacientes se identificó un hongo no dermatofito (*Geotrichum* spp en tres, *Exophiala* spp en uno y *Mucor* spp en otro). En un paciente se identificaron dos hongos diferentes (*T verrucosum* + *M audouinii*).

Los estudios con KOH fueron positivos en 11 pacientes (57,9%). Dentro de éstos, siete (63,6%) mostraron presencia de dermatofitos en el cultivo, en tres el cultivo fue positivo pero no se encontraron dermatofitos (27,7%) y en uno el cultivo fue negativo (9,1%).

La edad media de los pacientes con cultivo positivo fue de  $49 \pm 26$  años y había más mujeres (10) que hombres (7); nueve pacientes se encontraban en estadio 2 (cuatro hombres y cinco mujeres); seis en estadio 3 (tres hombres y tres mujeres) y dos en estadio 5 (dos mujeres). Sólo en uno de los 17 pacientes con cultivo positivo no había presencia de *moss* en la exploración clínica.

	<i>Lesiones musgosas</i>	No lesiones	Total
Cultivo positivo	16	1	17
Cultivo negativo	1	1	2

Tabla 29. Dermatofitosis en pacientes con podoconiosis





Figura 65. a) Varón de 54 años, de etnia *guraghe* que consultó descalzo. b) Tinción con azul de lactofenol de *Geotrichum candidum* aislado en el raspado cutáneo. Fue tratado y mantuvo el seguimiento durante dos semanas

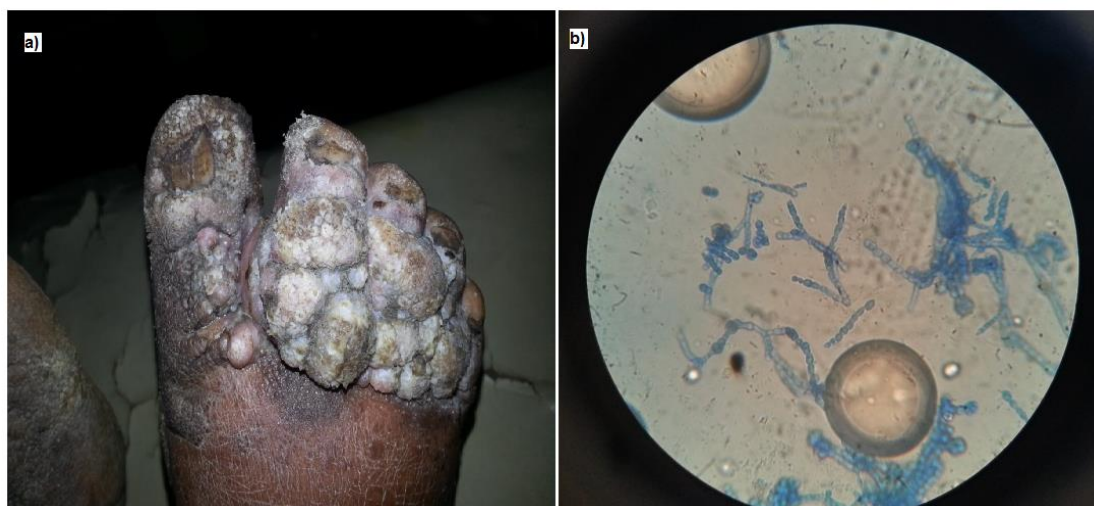


Figura 66. a) Lesiones cutáneas en una mujer de unos 55 años, de etnia Oromo y natural de Lephis. Consultaba con zapatos de plástico duro. b) Tinción con azul de lactofenol de *Trichophyton verrucosum* aislado en el raspado cutáneo

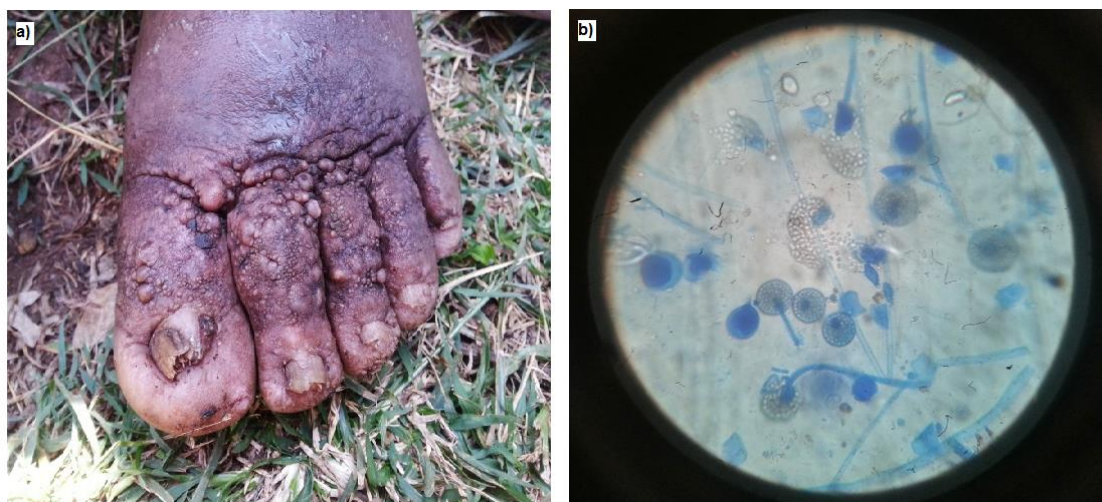


Figura 67. a) Lesiones verrucosas y cambios tróficos en varón de 43 años, de etnia Oromo y natural de Lephis; consultaba con zapatos de plástico duro. b) Tinción con azul de lactofenol de *Mucor spp.* aislado en el raspado cutáneo

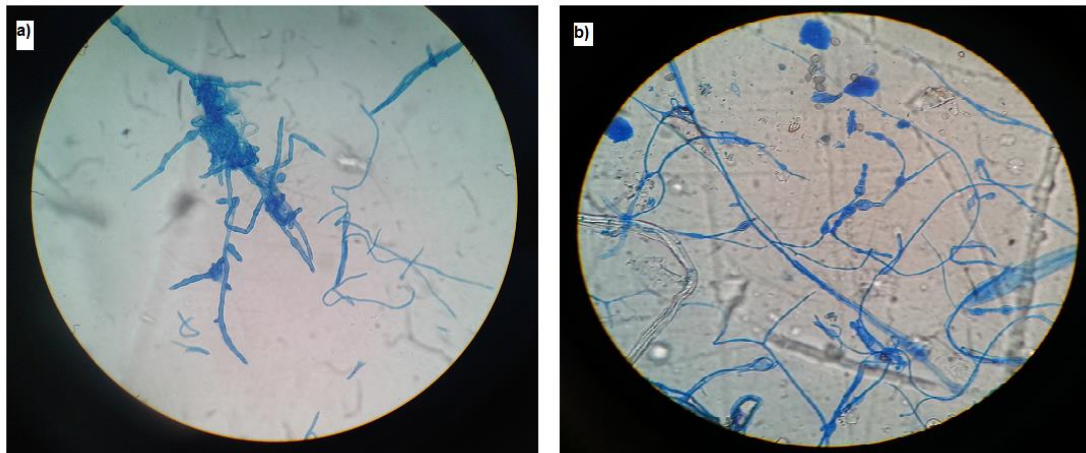


Fig. 68. Tinción con azul de lactofenol de a) *T. Tonsurans* y b) *Microsporum audouinii*, aislados en el raspado cutáneo de lesiones cutáneas de pacientes con podoconiosis.

# **DISCUSIÓN**

---





## DISCUSIÓN

### 1 Diseño del plan de intervención. Búsqueda activa de casos

Hasta la fecha, únicamente se ha realizado un estudio de seguimiento de pacientes con podoconiosis en Etiopía. Fue el llevado a cabo entre 2008 y 2009 por Sikorski *et al* en Shanto, comarca del área de Wolaita Sodo, una de las 13 zonas administrativas de las Naciones, Estados y Pueblos del Sur, a 300 Km al suroeste de Addis Abeba <sup>(124)</sup>. Se trata de un área densamente poblada a 1500-1800 metros sobre el nivel del mar, donde casi toda la población vive gracias a la agricultura de subsistencia a pequeña escala (como en Gambo). En su trabajo, evaluaron la actividad y resultados de la *Mossy Foot Prevention and Treatment Association* (MFPTA), una organización no-gubernamental que hace labor en esa zona desde 1979 y que trata en la actualidad más de 30.000 pacientes <sup>(147)</sup> y persigue su rehabilitación social mediante actividades (como peluquería, fabricación de zapatos, carpintería o reparación de bicicletas) que les permite lograr ingresos sin el contacto con el suelo.

Sikorski *et al* incluyeron todos aquellos pacientes con podoconiosis que se presentaron en su consultorio un único día en junio de 2008, formando así su cohorte de estudio: 33 enfermos nuevos, 27 de ellos mujeres y a partir de entonces los revisaron trimestralmente durante un año. Sólo tres pacientes dejaron de acudir a las revisiones y comprobaron la gran eficacia de las medidas terapéuticas aplicadas (calzado, lavado diario de los pies con agua, jabón, lejía diluida, emolientes y antifúngicos tópicos facilitados por la MFPTA).

Por nuestra parte, durante el año transcurrido entre junio de 2012 y junio de 2013, acudieron de forma espontánea por podoconiosis al Hospital General Rural de Gambo sólo 24 pacientes, cifra que dista mucho de la cohorte reclutada en Wolaita. A los 24 se les ofreció atención y seguimiento en el Hospital y todos realizaron la fase intensiva de tratamiento diario durante dos semanas. Sin embargo, 22 de ellos (91,7%) no acudieron a revisión y se perdió su seguimiento. La razón fundamental de ese abandono fue la distancia desde el poblado en que viven hasta el Hospital y la falta de medios de transporte. Como constataron Tora *et al* <sup>(148)</sup> en pacientes de la comarca de Wolaita Sodo, “si deben caminar tres horas descalzos para ir desde su

*kebele* a la clínica, muchas veces les resulta imposible porque se les hacen heridas en los pies; e, incluso, aunque en el poblado haya un medio de transporte, en muchas ocasiones no pueden permitirse el lujo de contratarlo”.

A ello debe añadirse el factor estigma, porque es frecuente que las familias nieguen que entre ellos haya algún miembro con *gedya kita*, término en wolaitigna con el que denominan el linfedema y prefieren esconder a los afectados en su choza o terreno. Y ello sin olvidar que, al precisar un tratamiento prolongado, muchos pacientes no ven una mejoría inmediata y piensan que la enfermedad es incurable. Si el incumplimiento de los tratamientos de las enfermedades crónicas es un problema grave en las sociedades desarrolladas, lo es mucho más en lugares en los que imperan la pobreza y el analfabetismo <sup>(149)</sup>.

## 2 Serie clínica

### 2.1 Características clínicas y epidemiológicas

Dado que en el área de Gambo casi nadie dispone de documento alguno de identificación y la gran mayoría de las personas ignora la fecha de su nacimiento, muchos de los enfermos no conocían su edad ni siquiera de manera aproximada. De ahí que debamos reconocer que todo lo referente a ese parámetro sólo es orientativo. Esto ya fue descrito cincuenta años atrás por Cohen, quien, en 1959, escribió: *“la clase baja etíope no tiene una idea real de su edad, y a menudo sólo se llegaba a una aproximación después de una larga discusión. Una vieja insistía que tenía 17 años y se negó a discutir sobre las edades de sus hijos y nietos. Pero, a menudo, el mayor problema residía en el deseo del paciente de agradar; parecía estar mucho más preocupado en encontrar una respuesta que pudiera ser la esperable que en aportar datos concretos sobre la historia de su enfermedad”* <sup>(28)</sup>. Como eso mismo nos ocurrió en la práctica totalidad de los casos, decidimos hacer una estimación de las edades en función de lo aportado por los pacientes y nuestra propia observación, por lo que ese dato debe interpretarse con cautela.

Partiendo de esa limitación, de los 106 pacientes de nuestra serie, 37 eran menores y 69 eran mayores de 25 años y su edad media era de unos 39 años; habían padecido la

enfermedad durante al menos 11 y los síntomas habrían empezado hacia los 26. Además, 87 (82%) se encontraban en el período de edad económicamente productivo (15-60 años), lo que concuerda con lo observado por Destas <sup>(31)</sup>, Alemu <sup>(150)</sup> y Molla <sup>(151)</sup>, quienes describieron el comienzo de la podoconiosis entre la segunda y la tercera década de la vida.

En cuanto al sexo de los enfermos (61 mujeres y 45 varones), de los 37 menores de 25 años, 19 eran mujeres y 18 varones; y de los 69 mayores de esa edad 42 eran mujeres y 27 varones, sin diferencia estadísticamente significativa y acorde con lo publicado <sup>(31, 150, 151)</sup>.

No obstante, la proporción entre hombres y mujeres difiere mucho según los estudios hechos en distintas regiones de Etiopía. En nuestra serie de 106 pacientes, 61 eran mujeres y 45 varones, (1,35:1), relación similar a la descrita por Oli *et al* <sup>(152)</sup> en 121 pacientes en Midakegn (centro de Etiopía), por Molla en 460 enfermos en Gojam <sup>(151)</sup> o por Destas *et al* <sup>(31)</sup> en 1.890 casos en Wolaita (en el sur), pero inferior a 2,6:1 en los 1.935 casos estudiados por Alemu *et al* en Gulliso <sup>(150)</sup>, o claramente diferente, con una mayor incidencia en hombres que en mujeres en proporción de 4,2:1 descrita por Mengistu *et al* <sup>(8)</sup> en 460 pacientes en Ocholo, por Kloos *et al* <sup>(9)</sup> en 222 casos (H/M 1,6) en la región de Keffa, o por Cohen tanto en Kenia como en Etiopía <sup>(5)</sup>.

En nuestra serie, como en aquéllas en las que se consideró qué pacientes consultaron espontáneamente en el hospital, hubo una mayor proporción de mujeres que cuando hubo que buscarlos activamente. Esto apoyaría la hipótesis de que, como observaron Sikorski *et al* <sup>(124)</sup>, los hombres consultarían espontáneamente menos que las mujeres y que, a medida que aumenta la dificultad para diagnosticar nuevos pacientes, se igualaría la prevalencia en ambos sexos. Sin embargo, otros trabajos orientados a valorar el componente de estigma de la podoconiosis, no demostraron diferencias significativas en cuanto al sexo, indicando que debe haber otros factores, como por ejemplo la necesidad de trabajar la tierra, que hacen que los varones consulten menos por este problema <sup>(155-157)</sup>.

La edad media de los pacientes de nuestra serie en el momento del diagnóstico fue de 39 años, superior a los 26 descrita por Alemu *et al.* en la comarca de Gulliso, Etiopía occidental <sup>(10)</sup>. Treinta y siete, 19 mujeres y 18 varones (34,9% del total de 106),

fueron diagnosticados a una edad comprendida aproximadamente entre 7 y 25 años, frente a 42 mujeres y 27 varones (total 69, 65,1%) que lo fueron a una edad superior. Es decir, mientras que la proporción de hombres y mujeres era similar en jóvenes, hubo un predominio de mujeres diagnosticadas después de los 25 años. La duración media de la enfermedad entre el comienzo de los síntomas y el diagnóstico fue de 11 años según nuestros datos y de 17 según aquellos autores.

Coincidiendo con lo descrito por Deribe *et al* <sup>(158)</sup>, no encontramos diferencias significativas en cuanto al estadio clínico entre hombres y mujeres. Así, 85 (51 mujeres y 34 varones) de los 106 pacientes (80,2%) fueron diagnosticados en estadio 2; siete mujeres y 10 varones (16% del total) en estadio 3; y cuatro, tres mujeres y un varón (3,8% de los 106) en estadio 5. Aunque en este último estadio había tres mujeres y sólo un hombre, el pequeño número de casos no permite valorar una diferencia que pudiera tener valor estadístico.

En cuanto a la posible relación entre la edad y el estadio clínico, 34 de los 37 pacientes menores de 25 años (91,9%) fueron diagnosticados en estadio 2 y tres (8,1%) en estadio 3, y ninguno de ese grupo de edad se encontraba en estadios más avanzados, datos parecidos a los descritos por Molla *et al* <sup>(151)</sup>, lo que es lógico ya que los grados deben progresar a medida que avanza la edad. Así 51 de los 67 (73,9%) pacientes mayores de 25 años fueron diagnosticados en estadio 2, 14 (20,3%) en estadio 3 y 4 (5,8%) en estadio 5 ( $p=0,03$ ). Igualmente, en estadio 3 hubo 14 mayores de 25 años y sólo tres menores de esa edad, lo que confirma la idea de la progresión de la enfermedad en función de la edad y el tiempo de evolución. Ningún enfermo fue diagnosticado en estadio 4 y los cuatro pacientes que estaban en estadio 5 tenían más de 25 años.

## 2.2 Alfabetización e ideas sobre las causas de la podocóniosis

En relación con la alfabetización, 58 de los 106 pacientes (54,7%) eran analfabetos. Debe tenerse presente que la mayoría vivían por debajo del umbral de la pobreza, lo que dificultaba su escolarización. Ese factor ha ido mejorando, aunque muy despacio, en áreas rurales de Etiopía y explica por qué entre los enfermos mayores hay más iletrados que entre los menores de 25 años. Así, lo eran sólo 8 de los 37

(21,5%) menores de 25 años, frente a 50 de los 69 mayores de esa edad (72,5%) ( $p < 0,001$ ), lo que coincide con lo observado en 2008 por Yacob *et al* en Wolaita (en el Sur)<sup>(11)</sup>, en 2011 por Allemu *et al* en Gulliso (en el oeste)<sup>(150)</sup>, en 2012 por Oli *et al* en Midakegn (en el centro)<sup>(152)</sup> y en 2013 por Molla *et al* en East Gojam (norte)<sup>(151)</sup>.

La idea que tenían los pacientes sobre la causa de la enfermedad guardaba relación con el analfabetismo. Así, 28 (12 menores y 16 mayores de 25 años) de los 106 pacientes (26,4 %) no tenían ninguna y parecía que nunca se lo hubieran preguntado. Entre los 78 restantes, 25 (10 menores y 15 mayores de 25 años) creían que se debía a haber sido mordidos por una serpiente durante su infancia (aunque no recordaran cuándo, dónde ni cómo lo fueron); 26 (6 menores y 20 mayores de 25 años) se aproximaban a lo cierto al pensar que se debía a haber andado descalzos sobre suelo frío y atribuyendo al frío un papel etiológico importante; sólo cinco (uno menor de 25 años y cuatro mayores) acertaban al pensar que se debía exclusivamente a caminar descalzos, lo que significaba un 4,7% frente al 54,1% descrito por Yacob *et al*<sup>(159)</sup> en Wolaita, en una población en la que el porcentaje de alfabetización de los pacientes (76,5%) era significativamente mayor que en Gambo (45,3%), confirmando la relación del analfabetismo con los errores sobre las causas de la enfermedad.

Además, cinco (dos menores y tres mayores de 25 años) pensaban que su enfermedad era lepra y, por lo tanto, contagiosa; cuatro (uno menor y tres mayores de 25 años) creían haberla heredado de sus padres; otros tres (uno menor y dos mayores de 25 años) afirmaban que se debía a maldición divina; un joven decía que era “reúma”, y nueve (tres menores y seis mayores de 25 años) la atribuían a causas tan dispares como la magia, el sol, venenos dispersos por gusanos e insectos del suelo, a la influencia de un espíritu maligno, a haberse tragado un gusano cuando era niño, o haber pisado un cadáver o excrementos de vaca yendo descalzos, ideas semejantes a las descritas en la literatura<sup>(157-159)</sup>.

En suma, 28 de nuestros pacientes no tenían ninguna idea sobre la causa de la enfermedad y 78 (76,5%) tenían ideas equivocadas sobre la causa de la podocóniosis con lo que, una vez más, se confirmaba la estrecha relación que existe entre analfabetismo, pobreza y enfermedades prevenibles. Así, en 2015, Cree *et al* de la fundación australiana *World Literacy Foundation*, calcularon que el coste del

analfabetismo en Etiopía por sí solo representaba unas pérdidas de 288 millones de dólares al año, además de su significado en términos de sufrimiento personal y coste social <sup>(160)</sup>.

Y quizá convenga recordar que la OMS no incluyó hasta 2011 la podoconiosis en la lista de “enfermedades tropicales olvidadas” <sup>(161)</sup>, como también es frecuente olvidar que la lucha contra la pobreza probablemente debe comenzar en la infancia y que, según UNICEF, “la educación de las madres reduce la mortalidad infantil” <sup>(162)</sup>.

### 2.3 Incidencia familiar

Por lo que respecta a la incidencia familiar de la enfermedad, Molla *et al* han descrito <sup>(151)</sup> que un 40% de su serie de 460 pacientes en la provincia de Gojam (norte de Etiopía) tenían al menos un familiar afectado en primer o segundo grado, mientras que en nuestro estudio ese porcentaje era el 27,35% (29 de 106). Este agrupamiento de casos en función de la proximidad biológica apoya la hipótesis de la influencia de factores genéticos en la susceptibilidad para la podoconiosis.

En cuanto a la relación entre familiares afectados y el sexo de los pacientes, 46 mujeres y 31 varones negaban o ignoraban tenerlos y 29 reconocían que sí los tenían (27,26% del total), proporción claramente inferior al 53% descrita por Molla *et al* <sup>(163)</sup>. En nuestra serie no hubo diferencias significativas en cuanto al sexo: 26 de los 106 (13 mujeres y otros tantos varones) -24,5%- tenían un familiar afectado, 17 de ellos en primer grado; y dos mujeres y un varón tenían dos con podoconiosis. El número de familiares afectados fue superior en los pacientes mayores de 25 años (18 tenían uno y tres tenían dos) que en menores (ocho tenían un solo familiar afectado y ninguno tenía dos o más), pero sin diferencia significativa.

### 2.4 Estado civil

Por otra parte, en la serie de Molla *et al* había más hombres casados (84,6%) vs 53,6% de mujeres y más mujeres divorciadas (22,5%) frente a un 3,6% de varones, lo que coincide con lo observado en nuestro trabajo <sup>(163)</sup>. Así, en nuestra serie también había más hombres casados que mujeres (29 de 45 [64,4%] vs 31 de 61 [50,8%]) y más mujeres divorciadas (4 de 61 [6,55%]) frente a ningún hombre; o viudas (15 [24,5%]) frente a ningún hombre viudo. Ello se explica porque, si es casi

imposible que se case una adolescente con podoconiosis, una mujer casada frecuentemente es repudiada si sufre la enfermedad (“para que no la transmita a los hijos”) y ningún hombre, soltero ni viudo, se casa con una viuda con podoconiosis<sup>(150, 151, 158, 159)</sup>. Esa fue una de las conclusiones a las que llegaron Deribe *et al* en su exhaustivo trabajo de 2015 publicado en *American Journal of Tropical Medicine & Higiene*. Según ese estudio multivariable, realizado sobre 5.253 pacientes con podoconiosis (proporción H/M 0,7/1), la prevalencia en hombres fue del 3,4% y del 4,7% en mujeres, y el hecho de ser una mujer mayor de 30 años, soltera, separada-divorciada o viuda, con bajo nivel de escolarización que se lavara los pies menos de una vez al día, sin cualificación, en situación de desempleo o necesitando dedicarse a la agricultura para sobrevivir, se relacionó con un mayor riesgo de desarrollar podoconiosis. Por el contrario, la educación secundaria o superior, buena higiene de los pies, el poseer trabajo y cubierto el suelo del domicilio, fueron factores asociados a un menor riesgo de sufrir la enfermedad<sup>(158)</sup>.

## 2.5 Lesiones cutáneas

De los 106 pacientes estudiados, 54 (50,9%) tenían lesiones tróficas con aspecto de musgo, proporción similar al 53% hallado por Alemu *et al* en Gulliso<sup>(150)</sup>, pero claramente inferior al 97,9% observada por Molla *et al* en 1.704 pacientes en Ahmara, norte de Etiopía<sup>(163)</sup>. Vimos estas lesiones musgosas en 14 de los 37 (37,8%) menores de 25 años y en 40 de 69 (58%) mayores de esa edad, con diferencia significativa en función de la edad ( $p=0,04$ ).

A diferencia de lo descrito por Alemu *et al*<sup>(10)</sup>, en nuestra serie las lesiones musgosas fueron algo más frecuentes en los varones (en 27 de 45, 60%) que en las mujeres (en 27 de 61, 44,3%) si bien la diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p=0,1$ ). Del mismo modo, tampoco hubo diferencias significativas en cuanto al sexo y el estadio clínico.

En 36 de los 85 pacientes (42,4%) en estadio 2 se encontraron cambios tróficos cutáneos con aspecto similar al musgo, lo que también se observó en 14 de los 17 en estadio 3 (82,4%) y en los cuatro (100%) pacientes en estadio 5 ( $p=0,001$ ), lo que indicaba su relación con estadios avanzados de la enfermedad.

Por otro lado, observamos heridas cutáneas en al menos una de las piernas en 22 de los 106 pacientes (20,7%), proporción superior al 7,2% hallado por Alemu *et al* <sup>(150)</sup>, pero claramente inferior al 53% descrito por Molla *et al* <sup>(163)</sup>. En función de la edad, 5 de los 37 (13,5%) menores y 17 de los 69 mayores de 25 años (24,6%) presentaban heridas cutáneas abiertas, con diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,001$ ), lo que parece lógico ya que los estadios más avanzados facilitarían una mayor fragilidad de la piel y, en consecuencia, las heridas. Además, hubo una relación directa entre los estadios avanzados de la enfermedad y las heridas. Así, éstas se hallaron en 11 de los 85 (12,9%) pacientes en estadio 2, en 8 de los 17 (47,1%) en estadio 3 y en tres de los cuatro (75%) que se encontraban en estadio 5 ( $p < 0,001$ ). Ello también parece lógico, ya que los estadios más avanzados facilitarían la fragilidad de la piel y, en consecuencia, las heridas.

Doce de las 61 mujeres y 10 de los 45 hombres tenían heridas en las piernas, sin diferencia significativa ( $p = 0,5$ ) y acorde con lo publicado <sup>(150, 151)</sup>. Asimismo, 20 de los 22 pacientes con heridas cutáneas (90,9%) tenían a la vez cambios tróficos de tipo *musgoso*, proporción superior al 12,6% descrito por Alemu *et al* <sup>(150)</sup> en su serie de 335 pacientes. En cambio, sólo 34 de los 84 de nuestros enfermos sin heridas (40,5%) sufrían lesiones musgosas (40,5%) ( $p < 0,001$ ).

## 2.6 Calzado

Tanto Robles, cuando publicó en 1938 su trabajo sobre la enfermedad conocida como *punudos* en Guatemala <sup>(20)</sup>, como Price, cuando en los años setenta del siglo XX la bautizó con el nombre con el que hoy la conocemos <sup>(33-37)</sup>, ya observaron la estrecha relación de la podocóniosis con el caminar o trabajar la tierra con los pies desnudos. Desde entonces, todos los que se han ocupado de esta enfermedad, en Etiopía y otros lugares de la Tierra, han confirmado tal relación <sup>(25, 26, 28, 30, 31, 35-38, 114-120, 147, 148, 150-154)</sup>.

Los que tienen mayor riesgo de sufrirla son los agricultores y cualquier otra profesión que implique el contacto directo y prolongado de los pies con suelos de origen volcánico, como se ha visto en obreros en minas de oro o en telares trabajando descalzos a diario durante muchas horas <sup>(99)</sup>. Asimismo, los estudios realizados por Kloos *et al* en Etiopía sobre poblaciones redistribuidas obligatoriamente entre 1974 y



1991 durante el régimen militar, demostraron que gentes de Wollo y Tigray, regiones del norte en las que es rara la podoconiosis, trasladadas en 1984-1985 a Illubabor (en el sudoeste), en 1990 ya tenían una prevalencia del 5% <sup>(154)</sup>. Esto fue corroborado por Birrie *et al* al demostrar que las personas llevadas contra su voluntad en 1984 desde el este de Gojam, área limítrofe con Wollo y con baja prevalencia de podoconiosis, a Pawe (con alta prevalencia, en el noroeste), casi todos los que en 1996 sufrían la enfermedad la habían desarrollado después de su traslado forzoso <sup>(164)</sup>.

En Gambo, un área, como otras muchas de Etiopía, con métodos agrícolas arcaicos y una economía casi de mera subsistencia (en 2014 el 33% de los 95 millones de etíopes vivían con dos dólares al día y el 50% sobrevivía con un dólar) la pobreza no sólo impide o limita la posesión de zapatos, sino que en su caso lleva a utilizar un calzado inadecuado, retrasa la edad a la que el niño empieza a llevarlo, e incluso obliga al padre de familia a seleccionar cuál de sus hijos va a llevar zapatos porque carece de recursos para calzar a todos <sup>(165)</sup>.

De los 106 pacientes 89 de nuestra serie (83,9%) decían dedicarse a las labores agrícolas (31 en exclusiva [29,2%] y 58 a tiempo parcial, [54,7%]); 20 eran niños o adolescentes estudiantes (18,8%), seis no trabajaban en nada (5,7%) y una enferma era maestra de profesión.

De esos 106 pacientes, 94 (88,7%) llevaban algún tipo de calzado cuando los diagnosticamos y 12 (11,3%) estaban descalzos, cifra ésta similar al 14,8% de los 5.253 pacientes de Deribe *et al* <sup>(158)</sup>, y algo menos de la mitad del 23,6% descrita por Molla *et al* <sup>(151)</sup>, 2/3 de cuyos pacientes descalzos eran mujeres, mientras que en nuestro caso (seis mujeres y seis hombres) tal proporción fue 1/1. De esos 12, tres de 37 (8,1%) eran menores y nueve de 69 (13,0%) eran mayores de 25 años, sin diferencia significativa.

Entre los 94 calzados predominaban los que llevaban zapatos de plástico duro (68; 63,2% de los 106; 73,4% de 94), seguidos de 15 con sandalias abiertas (14,2% de 106; 15,9% de 94) y ocho que llevaban *shera* (una especie de alpargatas o playeras con el empeine de lona y el piso de goma de neumático) (7,5% de los 106; 8,5% de 94). Además, sólo tres de los 106 (2,8%) llevaban zapatos de cuero.

En función de la edad, 21 de los 37 menores de 25 años (56,7%) y 47 de los 69

mayores de esa edad (68%), utilizaban ese tipo de zapatos, proporción algo mayor del 50,7% descrito por Deribe *et al* <sup>(158)</sup>. A su vez, de los quince pacientes que utilizaban sandalias abiertas (15,8% de 94, frente al 32% de los pacientes de Deribe), ocho eran menores y siete mayores de 25 años, y ocho, (cuatro menores y ocho mayores de 25 años; 8,5% de los 94 calzados), llevaban *shera* como único tipo de calzado, aproximadamente el doble del 4,1% observado por Deribe *et al* <sup>(158)</sup>.

Cuando les preguntamos por qué preferían trabajar descalzos en el campo, tanto hombres como mujeres contestaron que los zapatos que podían comprar en el mercadillo eran de plástico y les eran especialmente incómodos porque tenían poco agarre, resbalaban y se hacían muy pesados con el barro en la época de lluvias, y en los meses secos la tierra se les metía dentro. Aunque las botas altas de goma tipo Wellington les ayudarían a prevenir estos problemas, eran significativamente más caras que los zapatos de plástico y sólo estaban al alcance de una minoría. Además, muchas mujeres preferían ir descalzas cuando hacían otras labores reservadas para ellas como ir a recoger leña o buscar agua, con frecuencia a puntos alejados del domicilio. Y, aunque a los niños en el colegio se les instaba a usar zapatos, a menudo se descalzaban cuando llegaban a *casa*, habitualmente una choza con el suelo de tierra arcillosa, o cuando jugaban o trabajaban la tierra <sup>(165)</sup>.

Observamos diferencias en el tipo de calzado en función del sexo, ya que los zapatos de plástico de mala calidad eran utilizados por una proporción mayor de mujeres que de hombres: 45 de las 61 mujeres calzadas (73,7%) frente a 23 de los 45 hombres (51,7%) ( $p=0,03$ ). No hubo diferencia en cuanto al uso de sandalias abiertas (nueve de las 61 mujeres [14,7%] y seis de los 45 hombres [13,3%]), pero sí en el de *shera* (zapatillas): una mujer (1,6%) y siete hombres (15,6%),  $p=0,005$ ; y en el de zapatos de cuero, tres pacientes, los tres hombres, proporción muy inferior al 12,8% descrito por Deribe *et al*. <sup>(158)</sup>. Finalmente, ninguno de los pacientes de nuestra serie llevaba botas altas de goma.

La razón de esa diferencia del tipo de calzado en cuanto al sexo es económica, ya que un par de zapatos de plástico costaba 12 birr (~ 54 céntimos de euro); unas sandalias abiertas, 15 birr (~ 0,68 euros); y tanto unas botas altas de goma modelo Wellington como un par de zapatos de cuero, unos 200 birr (~ nueve euros). En una sociedad como la etíope, y sobre todo en áreas rurales, estos datos no sorprenden ya que por su

condición de sumisión absoluta al varón las mujeres sólo pueden acceder a un calzado de peor calidad.

Como observaron Alemu *et al* <sup>(150)</sup>, Molla *et al* <sup>(151)</sup> y Deribe *et al* <sup>(158)</sup>, la gran mayoría de los pacientes que estudiamos trabajaban la tierra descalzos y usaban un calzado inadecuado (de plástico duro, mal cerrado e incómodo; sandalias abiertas; zapatillas de lona) también cuando iban al mercado (97%) o cuando caminaban largas distancias (98,3%), y sólo el 72,6% lo utilizaba durante la época de lluvias o cuando estaban en su *casa* (81%), aunque en general preferían andar descalzos.

Sólo 19 de los 34 calzados menores de 25 años (55,9%) y 24 de los 60 (69-9 descalzos) mayores de esa edad (40%) afirmaban utilizarlo siempre. Cincuenta decían que lo utilizaban ocasionalmente: 18 de los 34 menores (53%) y 32 de los 60 mayores (55%), pero en ambos casos no hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p=0,1$ ). A su vez, 24 de las 55 mujeres calzadas (44,4%) afirmaban llevarlo siempre y 31 (56,5%) sólo ocasionalmente; frente a los varones, en los que 18 de 39 (45-6 descalzos) (46,1%) decían llevarlo siempre y 21 (53,8%) ocasionalmente, aunque esta diferencia no fue significativa.

Es decir, aproximadamente la mitad de los pacientes que estudiamos en Gambo sólo utilizaban el calzado de manera intermitente u ocasional, reservándolo para ir al mercado, ocasiones especiales (bodas, funerales) y reuniones sociales en la comunidad o actos religiosos, algo que también describieron Desta *et al* <sup>(31)</sup> en Wolaita Sodo.

Con la cautela obligada que ya se indicó con respecto a la cronología, los 34 pacientes calzados menores de 25 años se habrían puesto su primer par hacia los 14 años y los mayores de esa edad hacia los 30, edades inferiores a los 38 años descrita por Molla *et al* <sup>(163)</sup>. Probablemente por ello sólo cuatro se encontraban en el estadio 5 de la enfermedad. En cuanto a la edad a la que nuestros pacientes tuvieron su primer calzado fue 23 años, similar a la descrita por Alemu *et al* <sup>(150)</sup> y el tiempo que habrían caminado descalzos fue similar en mujeres (11,6 años -8,7-14,52-) y hombres (10,61 años -6,9-14,3-). Los menores de 25 años llevaban una media de 8,5 años (DE: 4,0) andando sin calzado, (Tabla 15), frente a los mayores de 25 años, que habían ido descalzos durante más tiempo, con una media de 20,8 años (DE: 15,7)

( $p < 0,001$ ). Y en relación con ello, el tiempo aproximado de evolución de la enfermedad fue de 5,8 años (DE: 3,7) en los menores de 25 años y de 14,1 (DE: 13,1) en los mayores ( $p < 0,001$ ).

## 2.7 Distancia a la fuente de agua

Sesenta y ocho de los 106 pacientes de nuestra serie (64,1%) tenían que caminar 800-1.000 metros de ida y otros tantos de vuelta hasta alcanzar la fuente de agua potable más cercana, (canalizada u obtenida de un arroyo o un pozo) lo que coincide con lo descrito por Alemu *et al* <sup>(150)</sup>. Por otra parte, Molla *et al* <sup>(151)</sup> observaron que habría menos pacientes de podocóniosis en zonas con acceso a agua canalizada comparadas con aquéllas donde la población la tomaba de pozos (quizá porque la distancia a recorrer fuera menor en el primer caso) aunque las diferencias no fueron significativas.

## 2.8 Aislamiento

Finalmente, 85 pacientes (80,1% de 106) habían residido toda su vida en el mismo *kebele* donde nacieron, precisamente el lugar en el que se documentó la enfermedad, y el tiempo medio que habían vivido en el área de estudio fue de 35 años, similar a la descrita por Molla *et al* <sup>(163)</sup>. Ello indicaba un componente de marginación en un área concreta y, probablemente por no haberse planteado la posibilidad de salir de su *kebele*, por consciencia de su limitación cultural y el consiguiente miedo a lo desconocido, o por un nulo afán por conocer otras tierras, se completaba el círculo vicioso de ignorancia, pobreza y aislamiento.

# 3 Factores predisponentes

## 3.1 Factores ambientales

La importancia de los factores ambientales en el desarrollo de la podocóniosis se postuló mucho tiempo atrás. Así, además de la primigenia observación en 1938 de Rodolfo Robles en Guatemala <sup>(20)</sup>, varios autores, entre los que destaca Ernest Price <sup>(33-38, 165-169)</sup>, en los años setenta y ochenta del siglo XX demostraron su existencia en

el África tropical y valoraron la influencia de la geografía y la geología del suelo en las zonas de mayor prevalencia de elefantiasis no filariásica.

Todos coincidieron en observar que, aunque geográficamente alejadas, eran áreas de terrenos volcánicos situadas a altitudes de más de 1.000 metros sobre el nivel del mar, con abundantes lluvias estacionales e índices pluviométricos anuales superiores a los 1.000 mm. Se trataba de áreas donde hubo y todavía hoy hay actividad volcánica, de tierras rojizas, resbaladizas cuando se humedecían y muy adherentes cuando se secaban sobre la piel; y, además, la prevalencia de la enfermedad era mayor en los territorios próximos a los volcanes cuyos suelos eran arcillosos, y por ello caracterizados por una elevada proporción de partículas de tamaño coloidal (entre un nanometro y un micrometro) compuestas de silicatos de aluminio y otros metales.

En esa línea fue básico el trabajo de Price en 1974 <sup>(12)</sup> sobre 43.573 adultos que acudían cada semana a diez mercados diferentes. Cinco de ellos estaban asentados sobre suelos rojizos, dos en sus márgenes y tres a cierta distancia. Observó que la prevalencia caía desde un máximo de 6,92% en la zona de suelo rojo, a menos de la mitad, 2,96%, en sus límites y a 0,98% en cualquier dirección a 25 Km de distancia de esos suelos, concluyendo que existía una asociación entre la prevalencia de la enfermedad y el residir sobre ese tipo de terrenos.

A lo largo de los años setenta, Price, Heather y Henderson observaron mediante microscopia electrónica que en los ganglios linfáticos inguinales de los enfermos de podoconiosis había minerales como cuarzo y filosilicatos como illita (silicato hidratado de potasio, aluminio, magnesio y hierro), caolinita (silicato hidratado de aluminio) y óxidos de hierro y aluminio. Y apuntaban que las micropartículas menores de una micra de esos minerales podían atravesar la piel por laceraciones secundarias a microtraumas, por los poros de las glándulas sudoríparas o, como otra posible vía, por permeabilidad iónica <sup>(34, 109, 116, 171)</sup>.

Poco después, en 1981, Price *et al* <sup>(169)</sup>, utilizando espectrometría de rayos X, comprobaron que la proporción de aluminio y sílice en los ganglios linfáticos era similar a la del suelo y plantearon la posibilidad de que estos minerales llegasen a los ganglios por los vasos linfáticos aferentes habiendo sido absorbidos a través de la

planta del pie.

Por otro lado, en 1983 Blanke y Price <sup>(170)</sup>, estudiaron suelos volcánicos de áreas con alta prevalencia de podoconiosis en Etiopía mediante termoluminiscencia (TL) y concluyeron que esta técnica les permitía distinguir entre las muestras de suelos de áreas donde había elefantiasis endémica no filariásica de las que no. Además, la similitud de las curvas de TL con la del cuarzo puro, les llevó a apuntar la idea de que la sílice era un factor clave en las propiedades geo-biológicas de aquellos suelos. Ello fue corroborado por Blundell *et al* quienes, en 1989, al analizar las micropartículas del suelo, comprobaron que estaban compuestas principalmente por Si y Al, señal de la presencia de caolinita (sílice amorfa con un 46,5% de SiO<sub>2</sub>, 39,49% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y un 13,93% de H<sub>2</sub>O) con una mínima proporción de titanio y óxido de hierro <sup>(172)</sup>. En consecuencia, postularon que los habitantes descalzos de estas áreas podían padecer podoconiosis cuando las micropartículas llegaran a los ganglios linfáticos por abrasiones de los pies.

La exposición durante años a ese tipo de suelos sugería que tanto el tiempo como la cantidad y el minúsculo tamaño de esas partículas facilitaban su entrada a través de la piel en los vasos linfáticos, donde los minerales ejercerían un efecto irritante y fibroso.

A su vez, Fyfe y Price realizaron en 1985 experimentos en animales inyectando partículas finas (de 0,1 a 4µm) de arena de cuarzo directamente en vasos linfáticos, con el fin de valorar en qué medida ese mineral puede causar daño linfático y determinar su principal punto de acción. Vieron así que tal inyección provocaba una reacción inmediata y muy intensa en los macrófagos, con una fibrosis posterior tanto en los vasos linfáticos, como, en menor medida, en los ganglios. La linfografía posterior confirmó que la obstrucción se debía a los efectos de la sílice más en los vasos que en los ganglios <sup>(173)</sup>.

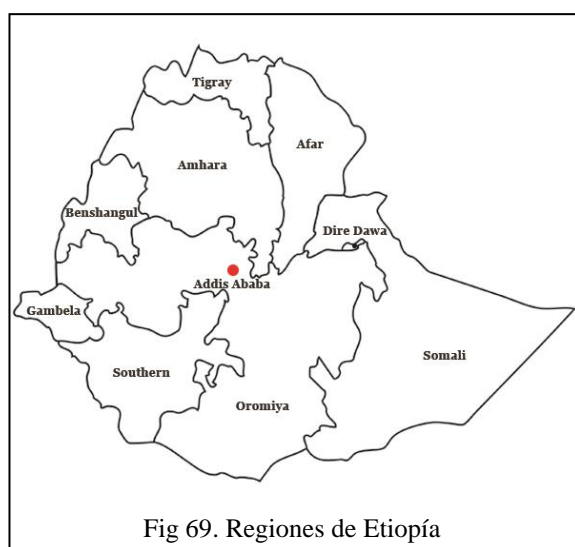
Igualmente, ya en 1993, Hochella señaló que el tamaño y características físicas de las partículas de los minerales eran el factor más importante de su toxicidad. También describió que las partículas más pequeñas se absorben más fácilmente a través de abrasiones de los pies y son transportadas al sistema linfático <sup>(174)</sup>. Aunque Abrahams <sup>(79)</sup> en 2002, Destas <sup>(31)</sup> en 2003 y Fuller <sup>(175)</sup> en 2005, publicaron datos similares,

todavía no quedaba claro cuáles de esas micropartículas identificadas en suelos y tejidos son las responsables de su toxicidad, y qué factores del huésped determinan la susceptibilidad a estas partículas. No obstante, Hochella también precisaba que la absorción transdérmica de los minerales del suelo era prevenible mediante el uso sistemático de calzado por la población.

La investigación en este campo fue escasa desde la muerte de Price en 1990 y, como señalaron Deribe *et al* <sup>(176)</sup>, hasta principios de los años 2000 la podoconiosis pasó por una “edad oscura”. Fue entonces cuando la también británica Gail Davey <sup>(177)</sup> reemprendió su estudio en comarcas del sur de Etiopía desde la perspectiva de la epidemiología, la clínica, el tratamiento, la mineralogía, la inmunología, la genética, la educación y la economía.

Sin embargo, aunque varios trabajos han sugerido la correlación de la podoconiosis con componentes específicos del suelo como sílice, aluminio <sup>(178)</sup>, circonio <sup>(114l)</sup>, esmectita, mica y cuarzo <sup>(179)</sup>, hasta la fecha no se ha podido demostrar cuál o cuáles elementos disparan específicamente el comienzo de la podoconiosis <sup>(180)</sup>.

Se estima que la prevalencia media de la podoconiosis en algunas áreas de Etiopía hoy es del 5%, con importantes diferencias según las regiones. Así, Deribe *et al* <sup>(13)</sup>



en un estudio realizado sobre 141.238 individuos de 1.442 comunidades de toda Etiopía entre 2010 y 2014, describieron una prevalencia del 8,63% en los SNNPRS (*Southern Nations, Nationalities, and Peoples Regional State*) en el suroeste; del 4,02% en la Oromía y del 3,89% en Amhara, pero mínima (<0,5%) en Tigray, Harare y Benishangul; e incluso era del 0% en Affar, Dire Dawa,

Somali, Gambella y Addis Abeba. Es decir, esta enfermedad se localizaba en las tierras altas del centro del país con unos 35 millones de personas en riesgo de sufrirla, y no existía en los territorios del este y del extremo norte. Confirmaron que

la probabilidad de encontrar pacientes aumentaba simultáneamente con la altitud sobre el nivel del mar (sobre todo entre mil y dos mil metros) y con altos índices pluviométrico y de vegetación, así como con la proporción de limos en el suelo y en las tierras cuya temperatura media anual estaba entre los 19 y 21° C; y, curiosamente, disminuía

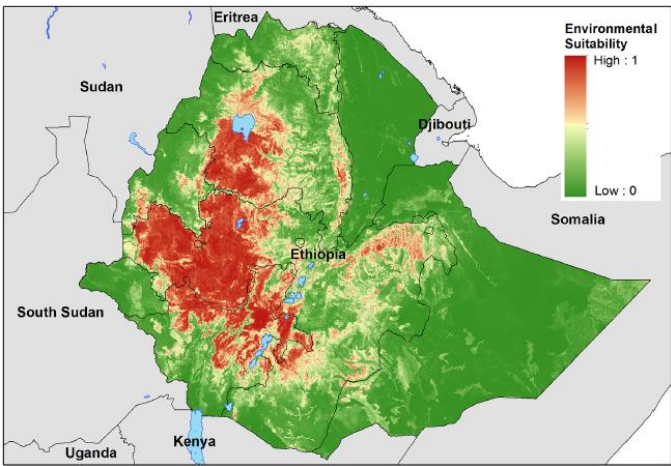


Figura 70. Área con mayor probabilidad de podocóniosis, (tierras altas de la región Amhara, la Oromía y los SSNPRS. La podocóniosis no existe en las regiones de Afar (extremo norte), Dire Dawa (este), Gambela (extremo occidental) <sup>(157)</sup>. Tomado de Deribe *et al* <sup>(181)</sup>

cuando aumentaba la proporción de arcilla y la densidad de la población. Simultáneamente, mediante datos del *International Soil Referente and Information Centre* (ISRIC), el *World Soil Information Project* (WSIP) y la *Africa Soil Information Service* (AfSIS) precisaron las áreas de Etiopía con mayor probabilidad de podocóniosis (Fig. 70).

Región	Nº Distritos	Población	Nº Casos	Prevalencia
Addis Abeba	4	800	0	0.00
Afar	323	6257	0	0,00
Ahmhara	144	28170	1097	3,89 (3,67-4,12)
Benishangul	20	1737	8	0,46 (0,14-0,78)
Dire Dawa	7	1400	0	0,00
Gambella	11	819	0	0,00
Harari	9	1801	1	0,06 (0,05-0,16)
Oromía	298	53647	2158	4,02 (3,86-4,19)
SNNPR	155	27860	2404	8,63 (8,30-8,96)
Somali	49	9583	14	0,15 (0,07-0,22)
Tigray	46	9164	30	0,33 (0,21-0,44)
Total	775	141.238	5712	4,04 (3-94-4,15)

Tabla 30. Prevalencia de podocóniosis en mayores de 15 años en Etiopía, por regiones. Tomado de Deribe *et al* <sup>(181)</sup>.

Las áreas administrativas en Etiopía se organizan de manera que cada una comprende múltiples *woredas* (distritos) con varios *kebeles* que, a su vez, incluyen



un número irregular de poblados. En un *kebele* viven unas cinco mil personas por término medio.

Gambo (a 225 Km al sur de Addis Abeba, capital del país a 2.300 m sobre el nivel del mar) y los *kebeles* en un radio de unos 20 Km estudiados en este trabajo -Lille, Bashako, Ashoka, Huluka, Gambelto y Bombaso- se encuentran en la Oromía, extensa región de 600.000 Km<sup>2</sup> a 2.200-2.600 metros sobre el nivel del mar y con una prevalencia de podoconiosis del 4,02%. Se trata de un área sin paludismo, que sí existe a 1.700 metros en el norte y el curso medio del Valle del Rift en el centro de Etiopía<sup>(182, 183)</sup>. Las tierras son rojizas, de origen volcánico, y el pueblo de Gambo, donde se encuentra la Misión de la Consolata con el Hospital General Rural, tiene unos 1.500 habitantes y su zona de influencia abarca unos 90.000 personas. La lengua local es el orómico, una de las del sur de Etiopía, y en menor medida el amhárico, lengua de origen semítico propia de las clases dirigentes e idioma oficial del país. La actividad principal de la región es la cría de ganado bovino, equino y ovino, junto con una agricultura (cereales y hortalizas) que progresa muy despacio. Globalmente se trata de un área muy pobre.

El 70% de la población en la zona de influencia del Hospital es musulmana, aproximadamente el 30% son cristianos ortodoxos de rito copto y menos del 1% son católicos. La convivencia entre los practicantes de las distintas religiones ha sido buena hasta la fecha. Los habitantes de los *kebeles* (poblados con numerosas chozas dispersas) se subdividen en clanes familiares bajo la autoridad de los ancianos y un líder local. Como en otras regiones de Etiopía, es frecuente la poligamia. La condición de la mujer es de sumisión al marido y considerada sobre todo en función de la procreación. La asistencia de las niñas a la escuela elemental aún es menor que la de los niños y más de la mitad de la población (54%) es analfabeta.

### 3.2 Factores individuales

Se abordan aquí puntos como el caminar descalzo, la pobreza, el estigma y las ideas de los pacientes sobre las causas de la enfermedad.

### 3.2.1 Caminar descalzo

El caminar y trabajar la tierra con pies descalzos o el uso infrecuente del calzado es un denominador común en áreas donde son prevalentes las enfermedades transmitidas por el suelo; un denominador que repercute negativamente en la salud y la economía de sus habitantes. Las geohelmintiasis, por ejemplo, coinciden con frecuencia con la podoconiosis <sup>(184)</sup> y tienen un importante impacto negativo en el desarrollo físico e intelectual en la mayoría de las comunidades deprimidas de África, Asia y Centro y Suramérica <sup>(185)</sup>. Y, según demostraron Strunz *et al* en 2014, el uso regular de calzado se asocia con tasas más bajas de infestación por parásitos transmitidos por el suelo <sup>(186)</sup> y un menor riesgo de otras enfermedades como el tétanos o las consecuencias de las mordeduras de serpientes.

Por lo tanto, preservar la salud de los pies mediante su protección con calzado adecuado y la higiene con su lavado concienzudo al menos una vez al día, es el primer eslabón para promover la salud general en países en vías de desarrollo.

En este capítulo, el 11,3% de los pacientes (12 de 106) incluidos en nuestra serie carecía de cualquier tipo de calzado y estaba descalzo cuando fue diagnosticado. Además, como vieron Molla *et al* <sup>(151)</sup>, observamos no sólo que las mujeres afectadas tenían un menor grado de instrucción y de ingresos que los varones, sino que también una proporción mayor de mujeres que de hombres (73,7% frente a 51,7%,  $p<0,02$ ) utilizaba zapatos de plástico de mala calidad y ninguna llevaba calzado de cuero (frente a tres varones). Y, aunque las diferencias no fueron significativas, las mujeres decían usarlo algo más regularmente que los varones. Lo mismo ocurría entre los menores que se lo podían permitir, frente a los mayores de 25 años.

Igualmente, Watanabe *et al* en 2014 <sup>(165)</sup>, en el estudio realizado sobre niños y adolescentes de 7 a 15 años que iban a una escuela primaria en Wolaita, comprobaron que sólo el 54% había usado calzado regularmente durante los tres días previos, y que tenían más edad que los que lo llevaban de manera irregular (12,3 vs 10,9 años;  $p<0,01$ ).

Además, el uso de calzado cubierto se asoció con menos onicodistrofia y una reducción significativa de tierra adherida a los pies. Sin embargo, tras el lavado habitual aún encontraron restos de barro en la mitad de los que dijeron llevar zapatos

regularmente. En consecuencia, deducían que era preciso promover el uso de calzado en la infancia y, a la vez, insistir en la necesidad de adquirir el hábito del lavado exhaustivo de los pies, que debiera ir ligado al lavado de manos y cara sobre todo en áreas donde coexisten enfermedades relacionadas con el suelo con otras prevenibles mediante la higiene, como, por ejemplo, el tracoma.

En cuanto a las barreras que limitan el uso de calzado en las tierras altas de Etiopía, coincidimos con el análisis de Ayode *et al* <sup>(157)</sup> sobre cómo actuar para controlar la podoconiosis. Así, deben ser considerados cuatro niveles o puntos sobre los que incidir: limitaciones económicas, la dificultad para adoptar ciertas costumbres higiénicas, la baja percepción del riesgo, y el miedo al estigma.



Figura 71. Paciente con botas tipo Wellington que adquirió cuando supo que le evitarían el contacto con el suelo y la podoconiosis.

### 3.2.2 Percepción del riesgo e ideas sobre las causas de la podoconiosis

Como ante cualquier enfermedad, es fundamental mejorar el conocimiento de las causas de la podoconiosis por parte de los pacientes y sus familiares. Así, se les debe insistir en las ideas de que: - no es hereditaria ni contagiosa, para lo que se deberá derribar todo un conjunto de viejas ideas erróneas; - que es tratable y, sobre todo, prevenible con calzado (para lo que se necesitan medios económicos) e higiene de pies y piernas (para la que se necesita agua). De ello se deriva, por un lado, la importancia de utilizar calzado de forma habitual e intentar, en la medida de las

posibilidades económicas, que sea apropiado; y, por otro, una mejor actitud hacia esos enfermos.

Como apuntaron Yakob *et al* en 2008, en la Etiopía rural ese conocimiento puede obtenerse fuera del sector formal de educación como, por ejemplo, en las reuniones administrativas de la comunidad en el *kebele*, en las iglesias y mezquitas y, particularmente para las mujeres, en las ceremonias del café <sup>(159)</sup>.

En este capítulo de la etiología, debe tenerse presente que la mayoría de los pacientes tienen ideas basadas en tradiciones orales y rumores. Así, y por ejemplo, cómo no recordar que en su cohorte de 11 enfermos entre 241 adultos entrevistados, Ayode *et al* <sup>(157)</sup> encontraron 31 varones sanos que creían que la podoconiosis era hereditaria y reconocían que ello había influido en la selección de su cónyuge o en la decisión de divorciarse de una mujer enferma por si transmitía la enfermedad a su descendencia.

## **4 Repercusión de la podoconiosis**

### **4.1. Estigma**

Lo que, refiriéndose a las enfermedades mentales, la OMS definió en 2001 como “la carga oculta” <sup>(191)</sup>, constituye un grave problema añadido al componente orgánico de enfermedades como la epilepsia, la lepra, la oncocercosis, la filariasis linfática, la leishmaniasis, la enfermedad de Chagas, la úlcera de Buruli, el SIDA por VIH y la propia podoconiosis.

En una de sus acepciones, el Diccionario de la RAE define el estigma como “lesión orgánica o trastorno funcional que indica enfermedad constitucional y hereditaria”, pero pensamos que Weiss precisó mejor el término al considerar que el estigma es “un atributo indeseable que reduce el estatus del individuo a los ojos de la sociedad”. Además, este factor se convierte en un determinante esencial al repercutir negativamente en la búsqueda de ayuda por parte del paciente y, por lo tanto, en las medidas dirigidas a erradicar la enfermedad estigmatizadora <sup>(192, 193)</sup>.

El estigma relacionado con la podoconiosis no es diferente al relacionado con el SIDA por VIH a través de ideas erróneas en cuanto a su etiología, vías de transmisión y formas de prevención. Sin embargo, aunque sus consecuencias sean similares a las observadas en otras enfermedades en otras latitudes y culturas, como apuntaron Van Brakel, Heijnders y van der Meij<sup>(194, 195)</sup>, en la podoconiosis quizá no se le ha dado la importancia que tiene realmente.

Así, Tekola en 2009<sup>(155)</sup>, Tora en 2011<sup>(196)</sup> y Deribe<sup>(197)</sup> y Franklin en 2013<sup>(156)</sup>, estudiaron este problema en pacientes con podoconiosis en diferentes regiones de Etiopía. Observaron que el grado del estigma aumentaba en paralelo con el grado de la enfermedad y que “más de la mitad de los pacientes con podoconiosis habían considerado la posibilidad de suicidarse por la discriminación y prejuicios que sufrían en las relaciones interpersonales”. El divorcio forzado, la pérdida de los planes de matrimonio en un medio en el que una mujer sin marido es especialmente vulnerable, los insultos y la exclusión de cualquier evento social, fueron los motivos más habituales apuntados por los afectados.

Tora *et al* precisaron las actitudes o formas de adaptación que seguían los pacientes ante el problema: a) una actitud activa; d) una actitud “evitativa” o de no afrontación, y c) limitando o anulando las relaciones, aislándose dentro de un entorno con frecuencia hostil. La actitud activa, la menos frecuente, era la adoptada por aquéllos que consideraban que podían modificar sus hábitos y costumbres y con ello minimizar el rechazo que sufrían en la comunidad. Así, por ejemplo, un paciente que veía que nadie quería sentarse a su lado en la iglesia o en las reuniones sociales, con esa actitud optaba por lavarse bien los pies, ponerse ropas largas, calcetines limpios y calzado, y se esforzaba en mantener las relaciones con los demás. La actitud de no afrontación sólo servía para ignorar, ocultar, cronificar y empeorar el problema hasta llegar a un punto de imposible mejoría. Finalmente, la peor era la de evitación o automarginación, ya que llevaba al aislamiento. Éste ayudaba a reducir el estrés, sí, pero también limitaba el acceso a la ayuda sanitaria, al empleo, la educación, la formación de una familia y el posible apoyo social<sup>(196)</sup>.

Si bien no fue uno de los objetivos de este trabajo, pensamos que procede describir al menos una observación sobre el estigma cuando realizamos el trabajo de campo. Así, aunque en España eso nos queda hoy lejos, da que pensar cuando se encuentra un

niño como el de la figura 72. Lo encontramos cuando, preguntando en la búsqueda de casos, otro pequeño nos cogió de la mano y ‘tirando’ nos llevó hacia una choza donde había una pareja de mediana edad, que a su vez nos condujo a la parte de atrás donde estaba el niño de la fotografía trabajando en el campo. Este pequeño vivía en una reducida e inhóspita caseta al lado de la de sus padres. Según afirmaban, había dejado de ir a la escuela hacía cuatro o cinco años porque los otros niños se reían de él y le rechazaban. En consecuencia, era analfabeto y, además, nunca salía de aquel recinto en el que su única actividad era trabajar la tierra ayudando a sus padres que desconocían su edad, aunque calculaban que debía ser unos doce años.

Aunque los esfuerzos deben ir dirigidos a prevenir la enfermedad, de manera similar a lo propuesto para el VIH <sup>(198)</sup>, la cuantificación de la trascendencia del estigma en la podoconiosis sería útil porque permitiría: a) evaluar programas que lo eviten o limiten; b) valorar nuevos servicios, c) detectar posibles consecuencias no previstas de una intervención determinada y, sobre todo, d) dedicar recursos a su prevención y tratamiento.



Figura 72. Niño encontrado en una caseta separada de la de sus padres. Obsérvense los zapatos de plástico al lado de una manta en el suelo.

Reflexión personal: Si bien es cierto que estos esfuerzos pueden ser útiles a medio o largo plazo, consideramos que queda aún mucho, si no casi todo, por hacer. Sin duda, será más práctico dirigir los recursos y el trabajo a nivel local, sobre territorios concretos, bajo modelos educativos y sanitarios con formación adecuada del personal local y supervisión frecuente, con buen funcionamiento interno y de eficacia ya demostrada. Debiera servir como ejemplo la labor que viene realizando desde 1997 la *Moosy Foot Treatment and Prevention Association*, MFPTA <sup>(176)</sup>. En esta línea, y lejos de su influencia, aún existen territorios en el medio rural apenas conocidos y sobre los que se debe actuar.

#### 4.2. Económica

Como se ha publicado y reiterado por organismos internacionales, la falta de infraestructuras y en concreto de vías de comunicación, repercute directamente en la pobreza de los pueblos: “La pobreza aumenta con la distancia a una ciudad o un pueblo con mercado, y los agricultores que viven en áreas remotas tienen mayor dificultad para aprovechar el rendimiento de la tierra y aumentar sus ingresos. El impacto positivo que tienen la educación y las infraestructuras, como se ha demostrado en Etiopía, confirman que la inversión en caminos y carreteras reduce la pobreza” <sup>(187-190)</sup>.

A diferencia de lo que ocurre en Wolaita Sodo <sup>(31, 176, 187)</sup>, donde el mensaje de la *Mossy Foot Treatment and Prevention Association* (MFTPA) para prevenir la pododermatitis y la infestación por geohelminthos ha calado hondo, en Gambo y sus alrededores la percepción del riesgo de padecer pododermatitis es baja, lo que también limita el uso de zapatos. En Wolaita predomina un modelo concreto que los habitantes asocian con la enfermedad y, por el miedo a ser reconocidos como pacientes si lo llevan, prefieren otro tipo diferente aunque proporcione menos protección. En Gambo, donde parece haber menos preocupación por la enfermedad, hay menos reparo en usar aquel modelo y utilizarlo más (Fig. 71).

Dejando a un lado el componente del estigma, la importancia socioeconómica de esta enfermedad en áreas rurales viene dada por sus efectos debilitantes que dificultan o incluso impiden a los afectados caminar y trabajar. La deformidad, hinchazón y las ulceraciones recurrentes con sobreinfección secundaria y episodios repetidos de





finalmente, el Ministerio Etíope Federal de Sanidad contribuía facilitando a las clínicas de la MFPTA terrenos y áreas de almacenamiento de material en centros gubernamentales.

El Ministerio Etíope de Sanidad animaba a la MFTPA a participar activamente en la prevención y tratamiento de la podoconiosis mediante su expansión a otras zonas del país donde la enfermedad es endémica, pero si bien era generoso en palabras y textos de ánimo, no lo era tanto a la hora de aportar recursos. Sin embargo, a pesar de los medios limitados con los que operaba, esta organización logró gran influencia gracias al adiestramiento de “agentes de la comunidad para la podoconiosis” (*community podoconiosis agents*, CPAs), pacientes ellos mismos y a la vez trabajadores sociales reclutados en la comunidad local. Estos CPAs estaban dirigidos por un director del proyecto y un director del trabajo social, eran visitados semanalmente por un inspector que supervisaba y abastecía de material y mensualmente recibían un salario de la MFTPA. Al ser pacientes tratados, se encontraban especialmente motivados y ofrecían prevención primaria a través de la educación en escuelas, iglesias y grupos de mujeres. Asimismo, actuaban como canales de información, dirigían a los pacientes a las clínicas, contribuían a aminorar el estigma y eran modelos de motivación para la comunidad.

No obstante, debe señalarse que los CPAs carecían de preparación para identificar y tratar otras enfermedades en pacientes con comorbilidades y, además, su coordinación con los servicios sanitarios gubernamentales era débil. Esto se podría mejorar con una estructura básica de supervisión externa y mejorando el sistema de derivación entre centros. La MFPTA planteó lograrlo mediante la presentación mensual de ‘casos difíciles’ en consultorios en los que un dermatólogo o una enfermera pudieran revisar los pacientes junto con el CPA para mejorar su formación.

Simultáneamente, esta organización desarrolló un programa para proporcionar calzado a miles de niños aún no afectados hijos de padres con podoconiosis, junto a programas de formación en labores que minimizan el contacto con el suelo; labores que, además de hacer prevención secundaria, permitían la autonomía económica de los enfermos. Una vez formados, los pacientes con preparación técnica y vocación docente actuaban como maestros de oficios (carpintería, peluquería, electrónica,

reparación de bicicletas y fabricación de calzado) para otros pacientes. Con un sueldo de 400-450 birr mensuales (unos 20 dólares, 18 euros; un dólar de 2016 = 21 birr; un euro = 24 birr), cada operario fabricaba de 30 a 35 pares de zapatos al mes. El material y el proceso de fabricación de un par cuesta de 90 a 150 birr (cinco-siete dólares USA) según el tamaño, pero se proporcionaban a los enfermos entre cero y 15 birr (unos 60 céntimos de euro), cantidad simbólica que, aunque no cubría gastos, creaba la idea de propiedad y compromiso por parte de los enfermos.

Por otro lado, la comunidad, mediante su colaboración e interacción con la MFTPA, también jugaba un papel importante ya que gracias a ella se lograba: a) aumentar la concienciación de la población sobre la podoconiosis; b) reducir el estigma a través de grupos sociales (en reuniones comunitarias, asambleas en las escuelas, en la iglesia y en las ceremonias del café); c) actuar a través de líderes locales para movilizar y coordinar servicios con el apoyo de la comunidad; d) ayudar en la organización de la atención sanitaria, creando equipos y sistemas de información, así como facilitar material para el autotratamiento; y e) propagar la enseñanza de las medidas de prevención.

Aunque el Ministerio de Sanidad de Etiopía había autorizado a la MFPTA para que fuera el centro nacional para el control de la podoconiosis, a nivel nacional esta Organización no llegó a lograr grandes resultados, ya que en la práctica el Gobierno aporta escaso apoyo material y logístico.

Por otro lado, la MFTPA no se llegó a involucrar en la formación de personal más allá de los CPAs directamente dirigidos por ella y tampoco figuraba entre sus objetivos el destinar técnicos a otras zonas diferentes de Wolaita Sodo.

Nuestra visita a la MFTPA en agosto de 2013 fue fructífera, ya que nos permitió conocer de primera mano su estructura organizativa, sus conexiones con la comunidad y los métodos de acción. En definitiva, parecía un sistema que funcionaba. Sin embargo, también es cierto que sus responsables no colaboraron cuando les propusimos que desplazaran a Gambo algún miembro para planificar una estructura organizada, con medios para el diagnóstico y tratamiento de los enfermos con base en el Hospital General Rural, que siguiera funcionando a largo plazo tras nuestra marcha.

## 5. Actualidad sobre la podoconiosis y la National Podoconiosis Action Network (NaPAN)

La red nacional de acción frente a la podoconiosis se estableció en noviembre de 2011, con el apoyo del Ministerio de Sanidad Etiópe, y se encuentra bajo la dirección de Biruk Kebede desde diciembre de 2012. Hoy día recibe donaciones de tres organizaciones fundamentalmente: TOMS, la *Big Lottery Fund* a través de la Universidad de Sussex y el DFID (*Department for International Development*) por medio de la Liverpool School of Tropical Medicine.

TOMS shoes apoya el NaPAN desde diciembre de 2012, económicamente y suministrando calzado; la última donación fue en 2014, con 125.800 USD, empleados a lo largo de 2014 y 2015, y entre 200.000-250.000 pares de zapatos anualmente (unos 34 - 42 millones de birr ó 1,5-1,75 millones de euros).

Por otro lado, NaPAN recibe £420.866 de la Universidad de Sussex para poner en práctica el *Preventing Podo Project* (PPP) a través de cuatro de sus organizaciones en las regiones Amhara, la Oromía y los SNNPRS. Estos fondos a su vez provienen de la *Big Lottery Fund*, una organización del Reino Unido responsable de la distribución de los fondos recibidos de la Lotería Nacional para ‘causas justas’, habiendo proporcionado £6,2 billones para más de 130.000 proyectos en el Reino Unido, desde 2004. Además de eso, la Universidad de Sussex proporciona unas £78.000 adicionales a la NaPAN.

Dentro del PPP, se encontraba *Mossy Foot International* (MFI) y dentro de ella, la MFTPA. Sin embargo, dado que la organización no cumplió con los términos y condiciones de un sub-acuerdo interno, NaPAN dio por concluida dicha colaboración recientemente y, desgraciadamente, la MFTPA que había funcionado hasta 2015 se encuentra ahora desmantelada. Con el fin de continuar con la atención y seguimiento de los pacientes del área de Wolaita en las *woredas* de Sodo, Offa y Damot Sore, la organización económica parece que será desempeñada a partir de ahora por la *Action on Podoconiosis Association* (APA) y la *Community Sustainability Development Aid* (CostiDA). Habrá que ver si funcionan de manera tan bien estructurada y si obtienen buenos resultados; nos permitimos ser escépticos al respecto.

Al mismo tiempo, NaPAN ha firmado un acuerdo con la Liverpool School of Tropical Medicine por el valor de £121.055 para realizar una valoración acerca de la carga de la filariasis linfática y de la podoconiosis en las regiones de Amhara y los SNNPRS en 20 distritos co-endémicos. También hay un segundo acuerdo de £112.973 con la LSTM para iniciar un manejo conjunto de ambas enfermedades. Sin embargo, ninguno ha comenzado aún.

## 5 Suelos

El tamaño de las partículas en todas las muestras de suelos estudiados fue inferior a un milímetro y en la mayoría de ellas más del 90% de las partículas tenía un diámetro inferior a una décima de milímetro, propio de los terrenos arcillosos.

Hasta la fecha hay pocos estudios publicados acerca de las características minerales del suelo y su relación etiológica con la podoconiosis. La mayoría data de hace varias décadas y se debe a Ernest W. Price <sup>(33-37)</sup>. No obstante, los trabajos posteriores confirmaron el papel de la geología en la etiología de la podoconiosis, constatando que, aunque no se conoce el desencadenante preciso, la sílice, arcillas y otros minerales del suelo juegan un papel esencial en la patogenia <sup>(179, 200, 201)</sup>.

Las tierras altas de la meseta etíope se debieron originar a partir de varios centros volcánicos de diferentes edades magmáticas. Se calcula que la actividad volcánica debió comenzar en el oligoceno hace unos 40 millones de años produciendo grandes erupciones de basaltos, traquitas y fonolitas seguidas en algunos lugares por riolitas <sup>(135, 202)</sup>. Los suelos actuales formados a lo largo de eones se componen de cenizas, finísimos fragmentos de rocas volcánicas compuestos sobre todo por silicatos de partículas de menos de una décima de milímetro (< 0,08 mm en arcillas y limos) y responsables de las propiedades singulares de esas tierras, especialmente en presencia de agua. Esos suelos son porosos, estructuralmente amorfos y de textura finamente fragmentada, lo que explica la rapidez del proceso de alteración de los silicatos volcánicos y el predominio de partículas de alofán  $-Al_2O_3(SiO_2)_3(3H_2O)-$  de morfología esférica, e imogolita,  $Al_2SiO_3(OH)_4$ , de morfología fibrosa <sup>(74, 75)</sup>.

Todos los estudios realizados en áreas con podoconiosis han demostrado que se trata de suelos arcillosos y morfológicamente de color rojizo-marrón por su contenido en

óxido de hierro<sup>(35, 37, 38, 114, 132-136, 150, 163, 166-174)</sup>. Más aún, si se superponen los datos de prevalencia de podoconiosis sobre un mapa geológico del Este de África, se observa su correlación con áreas de rocas basálticas alcalinas cuya erosión por los agentes climáticos da lugar al característico suelo arcilloso.

Como curiosidad al margen, ciertas arcillas fueron utilizadas antiguamente por su efecto antidiarreico y en particular, la montmorillonita contenedora de calcio, aún hoy, además de servir como antiaglomerante en alimentación animal, se ha demostrado que mejora la evolución de diarreas por intestino irritable o de etiología infecciosa (por adsorción de enterotoxinas bacterianas), disminuye la inflamación y disbiosis intestinal en modelos experimentales de enfermedad inflamatoria intestinal en ratón, así como que también reduce el riesgo de aflatoxicosis en peces criados en piscifactoría<sup>(203-209)</sup>.

## 5.1 Arcillas

Las arcillas son materiales naturales compuestos fundamentalmente por silicatos de grano menor de dos  $\mu\text{m}$  y estructura interna laminar que, con contenidos apropiados de agua, poseen un comportamiento plástico que las endurece tras el secado o la cocción.

La proporción media de arcillas en las muestras que recogimos en Gambo y analizadas en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) fue del 74,8% (entre 57 y 85%). En todas predominó la illita, una arcilla micácea de fórmula  $[(\text{K}, \text{H}_3\text{O}) (\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{H}_2\text{O})]$  estructuralmente un silicato laminar, en una proporción media del 43%, seguida de caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , otro silicato aluminico hidratado pero sin hierro ni magnesio, en una proporción media del 30%. Esto coincide parcialmente con lo observado por Molla *et al* quienes, en el norte de Etiopía, también han descrito la asociación de la podoconiosis con filosilicatos como esmectitas (con calcio, aluminio y magnesio), como la montmorillonita  $[(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  y caolinita junto con micas (filosilicatos de aluminio, hierro, calcio y magnesio, exfoliables en láminas flexibles y elásticas) y cuarzo (sílice cristalina)<sup>(210)</sup>. Esos minerales influyen en la absorción de agua por el suelo y facilitarían tanto las infecciones cutáneas como las adenolinfangitis.

Como se ve en la tabla 31, destacaba la alta proporción de illita (83%) en una de las muestras (en concreto la M1111\_1), recogida en Huluka, con sólo 11% de feldespato potásico y 6% de cuarzo. Este dato pudiera ser significativo ya que diagnosticamos varios casos en un espacio pequeño alrededor de esta área. El Huluka es un río que divide los *kebeles* de Ashoka y Gambelto y esa muestra se recogió en Gambelto, donde encontramos cuatro casos en chozas próximas entre sí a unos 150 metros del río.

	PORCENTAJE (%)	ARCILLAS		OTROS MINERALES	
	TOTAL ARCILLAS	ILLITA	CAOLIN	CUARZO	FELDESPATO POTASICO
M3010_4	85	45	40	11	4
M3110_4	65	45	20	18	17
M1111_1	83	83	0	6	11
M1911_3	77	38	39	16	7
M2111_2	57	35	22	13	30
M2311_3	82	54	28	8	10
PROMEDIO	74,83	50,00	24,83	12,00	13,17

Tabla 31. Illita, caolín, cuarzo y feldespato potásico en seis muestras de suelos.

Molla *et al* y Dougherty *et al* apuntaron que la montmorillonita, un filosilicato del grupo de las esmectitas formado al enfriarse las cenizas volcánicas, facilitaría la supervivencia de las enterobacterias en el suelo <sup>(210, 211)</sup>. Además, tal filosilicato poseería, por su acción citotóxica sobre los neutrófilos *in vitro*, un efecto facilitador de la infección superior al de otros filosilicatos como illita y caolinita <sup>(211)</sup>. Sin embargo, y por el contrario, Williams *et al* describieron que las arcillas compuestas de illita y esmectitas, tenían propiedades antibacterianas que atribuían a su bajo pH y elevado contenido de hierro <sup>(212)</sup>. Ello fue corroborado por Otto y Haydee, pero apuntaban que las mezclas de illita y esmectitas adquirirían poder antibacteriano *in vitro* por la correlación positiva que se establece entre la pequeña concentración de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  presentes en ellas, independientemente del pH <sup>(213)</sup>.

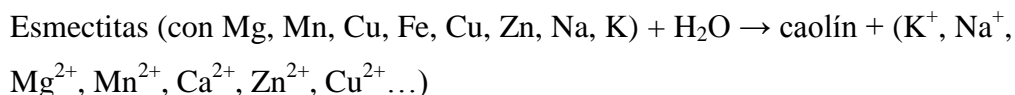
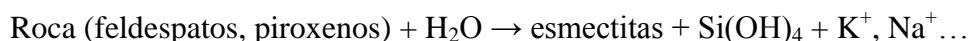
Es decir, los resultados sobre la posible influencia de la estructura de los diferentes silicatos de las arcillas sobre las infecciones son contradictorios y obligan a considerar que, probablemente, son otros factores (las laceraciones de la piel por las micro y nanopartículas de silicatos hidratados y la falta de higiene) los

preponderantes en la etiopatogenia de la podoconiosis<sup>(110-114, 177, 213, 214)</sup>. En cualquier caso, si las arcillas tuvieran poder antibacteriano, no sería suficiente como para evitar los frecuentes episodios de adenolinfangitis aguda de miembros inferiores que sufren los pacientes.

Sólo como dato comparativo, esas cifras de arcillas son superiores a las observadas en, por ejemplo, muchos de los suelos de Madrid (13-25%), Andalucía o Extremadura (45%)<sup>(215, 216)</sup>.

## 5.2 Elementos mayoritarios

La podoconiosis es un ejemplo de cómo el suelo puede repercutir en la salud en áreas tropicales, lugares donde las rutas de los elementos químicos y los minerales son mucho más directas desde el entorno al cuerpo. Como explicaron gráficamente Dissanayake y Chandrajith, la erosión de los minerales (feldespatos y piroxenos) de las rocas por el agua da lugar a esmectitas,  $\text{Si(OH)}_4$ , e iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , etcétera<sup>(217)</sup>. A su vez, la hidratación de las esmectitas origina caolín e iones de metales y metales alcalinotérreos:



Las condiciones geográficas y geológicas (altitud > 1.250 m sobre el nivel del mar, temperatura media 20 °C, índice pluviométrico anual superior a 1.000 mm), erosionan las rocas volcánicas originando partículas de sílice cristalina de menos de 5  $\mu\text{m}$  que se han encontrado en homogeneizados de ganglios linfáticos femorales de los pacientes<sup>(14)</sup>. Esas partículas son captadas por los macrófagos, células que aclaran partículas extrañas mediante la formación de especies reactantes de oxígeno o la alteración de la permeabilidad de los lisosomas<sup>(81, 218)</sup>.

Con las arcillas, el cuarzo, con un promedio del 43,9 %, fue el mineral más abundante en las muestras de suelos recogidas en Ashoka, Bashako y Huluka, mientras los aluminosilicatos como el feldespato potásico, lo fueron en las de Lephis, Gambo y Huluka (Tablas 21 y 22). Si bien las micro y nanopartículas de cuarzo

(sílice cristalina) por su acción proinflamatoria sí jugarían un papel en la etiopatogenia de la podoconiosis, la sílice amorfa apenas influiría <sup>(166, 167,181, 202, 212, 213)</sup>.

Frommel *et al* en su trabajo realizado en Ocholo, un área a 2.000 metros de altitud en el suroeste de Etiopía con una prevalencia de podoconiosis del 5%, hallaron concentraciones de SiO<sub>2</sub> del 46%  $\pm$  7.8%; de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16,4  $\pm$  2,7 % y de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,15%  $\pm$  3,91 respectivamente <sup>(114)</sup>. A su vez, DeLalla *et al* encontraron en Iringa, Tanzania, unas concentraciones medias de SiO<sub>2</sub> de 67,1%, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del 22,5 % y de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del 5,3 % <sup>(219)</sup>. Por otra parte, en nuestras muestras las proporciones fueron: SiO<sub>2</sub> 57,73  $\pm$  14,5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12,56 %  $\pm$  4,5 y de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,15  $\pm$  4,5% . Es decir, mientras que las proporciones de sílice y óxido de aluminio eran similares en Gambo, Ocholo e Iringa, el óxido de hierro en las muestras de Gambo era casi el doble que en Ocholo y casi el triple que en Iringa (Tablas 32 y 33). Sin embargo, Le Blond *et al* en tierras del noroeste de Etiopía entre 2.000 y 3.600 metros de altitud, vieron una proporción aún mayor de óxidos de hierro (hasta el 40%) y un 57% de filosilicatos como caolinita y esmectitas, lo que confirmaría la heterogeneidad de las tierras de origen volcánico de Etiopía <sup>(220)</sup>.

Tabla 32. Elementos mayoritarios en Gambo, Ocholo e Iringa

	<b>Gambo (Etiopía)</b> Prieto <i>et al</i>	<b>Ocholo (Etiopía)</b> Frommel <i>et al</i> .	<b>Iringa (Tanzania)</b> De Lalla <i>et al</i> .
SiO <sub>2</sub>	57,73 $\pm$ 14,5 %	46 $\pm$ 7,8 %	67,1 $\pm$ 12,9 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,56 $\pm$ 4,5 %	16,4 $\pm$ 2,7 %	22,5 $\pm$ 10,4 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,15 $\pm$ 4,5 %	7,35 $\pm$ 3,9 %	5,3 $\pm$ 1,3 %

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	PPC
<b>Media</b>	57,73	12,56	7,15	1,48	0,94	0,30	2,51	0,94	0,23	1,71	15,41
Max	72,23	17,06	11,06	4,73	1,8	0,61	3,52	3,28	0,64	3,22	30,91
Min	43,88	8,25	4,07	0,64	0,48	0,13	1,56	0,5	0,05	0,98	4,41

Tabla 33. Cuarzo y óxidos metálicos en las muestras de suelo en %



### 5.3 Elementos traza

Mientras que en química analítica un elemento traza es el que se encuentra en una concentración inferior a 100 partes por millón, ppm, (o 100 µg/g), en geoquímica y concretamente en petrología ígnea, tal concentración es inferior a mil ppm o uno por mil (1 ppm equivale a 1 µg/g y a 1 mg/kg) de la composición de una roca. Esta última es la considerada en las muestras de suelos.

Los elementos traza son elementos metálicos de densidad relativa (>5) y peso atómico (>100) altos, derivados de minerales que por la erosión pasan al aire, suelos y aguas para ser disponibles para plantas y animales. Se sabe que las plantas precisan como esenciales ocho de esos elementos: boro, cloro, hierro, manganeso, cobre, cinc, níquel y molibdeno. Salvo el níquel y el boro, los seis restantes también son esenciales para los animales. Aunque no suelen formar parte de la estructura de las arcillas, sí son adsorbidos por la superficie de sus moléculas. Algunos de ellos son más móviles que otros y pueden descender a capas profundas de la tierra quedando deplecionadas las superficiales. El pH juega un papel importante en la concentración de estos elementos en el suelo. Así, el selenio y el molibdeno permanecen estables a pH comprendidos entre 5,5 y 7,5, mientras que el hierro, aluminio y plomo son más estables y disponibles para las plantas en suelos más ácidos. Habitualmente las raíces captan esos elementos que retornan a la tierra cuando los vegetales mueren. Esto es especialmente evidente en el caso de potasio, calcio, manganeso y cinc, pero también explica por qué la tierra se enriquece de otros que son absorbidos fácil y rápidamente por las plantas, como cromo, cesio, bario, cadmio y rubidio <sup>(221)</sup>.

Los suelos de origen volcánico de las tierras altas del suroeste de Etiopía derivan de rocas félsicas (feldespato y silicio), máficas (magnesio y hierro) o álficas (aluminio y hierro) y por lo tanto son ricos en óxidos de aluminio, hierro y magnesio. Hasta la fecha, sólo se han realizado tres estudios de determinación de elementos traza en diferentes tierras con alta prevalencia de podoconiosis: los de Frommel, Lar y Brotzu. El estudio más completo se debe a Frommel *et al* <sup>(114)</sup>, realizado en Ocholo (suroeste de Etiopía) en 1993 y con cuyas cifras sobre todo debemos comparar nuestros resultados. Así, encontraron concentraciones de bario ( $830 \pm 297$  µg/g), berilio ( $4,6 \pm 0,5$ ), vanadio ( $284 \pm 159$  µg/g) y circonio ( $618 \pm 87$  µg/g). Destacan las concentraciones de berilio (Be) y circonio (Zr), doble de la hallada en suelos con baja

prevalencia de podoconiosis, así como la de vanadio ( $>250 \mu\text{g/g}$ ) en la mitad de sus muestras (que atribuyeron a un factor de comparación, ya que el vanadio raramente supera  $120 \mu\text{g/g}$  en rocas graníticas, ausentes en Ocholo).

En función de sus resultados, Frommel *et al* apuntaron que la exposición de los pies descalzos durante años a Be y Zr, elementos con conocida capacidad de inducir la formación de granulomas en ganglios y presentes en arcillas ricas en partículas de sílice coloidal y muy abrasivas, sería la responsable de la esclerosis ganglionar que conduce a la elefantiasis no filariásica <sup>(114)</sup>. En concreto, el Be tiene escasa movilidad a pH tanto ácidos como alcalinos de los suelos, como el Zr suele acompañar a las arcillas y se encuentra en la superficie terrestre en una proporción de  $\sim 6 \mu\text{g/g}$ , similar a la encontrada tanto en Ocholo como en nuestras muestras de suelos. Este elemento, además de desencadenar reacciones cutáneas de hipersensibilidad por contacto, produce granulomas y beriliosis, una grave neumopatía por inhalación <sup>(90, 222-224)</sup>.

En Gambo observamos las siguientes concentraciones de elementos traza: Ba  $268,2 \pm 142,8 \mu\text{g/g}$  (aproximadamente la tercera parte que en Ocholo); Be  $4,57 \pm 1,7 \mu\text{g/g}$ , (similar a Ocholo); Zn  $176,1 \pm 127,9 \mu\text{g/g}$ ; V  $72,9 \pm 85,1$ ; Cr  $46,2 \pm 59,8$ ; Ni  $38,3 \pm 27,3$ ; Pb  $23,1 \pm 14,9$ ; Co  $15 \pm 20,6$ ; Cu  $17,5 \pm 13,7$ ; U:  $1-4 \mu\text{g/g}$  (media: 2) y Th  $16,9 \pm 8,1 \mu\text{g/g}$  (media: 13). Además, las concentraciones de Zr ( $920 \pm 288 \mu\text{g/g}$ ) son significativamente mayores que las halladas por Frommel *et al* en Ocholo <sup>(114)</sup>:  $618 \pm 87 \mu\text{g/g}$ .

En cuanto al bario, aunque es muy reactivo con el agua e hipotéticamente pudiera influir en la etiología de la podoconiosis a través de su óxido, BaO, y peróxido, Ba(OH)<sub>2</sub>, su papel sería más cualitativo que cuantitativo, ya que su concentración en los suelos de Gambo es aproximadamente un tercio de la de Ocholo y la prevalencia de la enfermedad es similar en ambas áreas.

Según Frommel, las rocas básicas constituyen la fuente principal de circonio, del mismo modo que las ácidas lo son de Be; y en un territorio como Ocholo ambos elementos se encuentran juntos en sus suelos arcillosos, especialmente ricos en esmectitas como la montmorillonita. El elevado contenido en material orgánico (13%

de carbono orgánico), con el que el Be forma complejos con facilidad, contribuiría a los valores relativamente altos detectados de Be.

Por su posible papel etiológico en la podocóniosis, el Zr fue analizado específicamente en los suelos. Este metal de transición de la familia del titanio, con el que comparte la gran resistencia al calor y la corrosión, se encuentra en la superficie terrestre en concentraciones que van desde 5 hasta 1.000 µg/g (promedio 230) en forma de silicato anhídrido ( $\text{SiO}_4\text{Zr}$ ) o como dióxido ( $\text{ZrO}_2$ ). Como  $\text{ZrSiO}_4$  posee una dureza de 7,5 en la escala de Mohs, algo mayor que la del cuarzo, y el pequeño tamaño de sus cristales (0,1-0,3 mm) le hace especialmente dañino para la piel. Con frecuencia forma parte de minerales que contienen mínimas cantidades de uranio y torio <sup>(94, 97, 98, 102, 103, 139)</sup>, lo que se confirma en las muestras de suelos analizados. Además, también existe en las aguas analizadas a una concentración que va desde 0,002 hasta 2,41 µg/litro.

A su vez, Kronberg *et al* observaron que cuando las rocas primarias son lixiviadas (lixiviar: separar una sustancia soluble de otra insoluble mediante agua) y disminuye el tamaño de sus superficies hasta un punto en el que las concentraciones en solución caen por debajo de su solubilidad metaestable, las arcillas del grupo de las esmectitas se degradan y aumenta la proporción de otros filosilicatos de molécula más pequeña, como caolinita, en los que se acumulan elementos traza como el circonio <sup>(225)</sup>. Éste se acumula en el estrato córneo de la piel y, además de producir inflamación y granulomas, facilita la deshidratación y el agrietamiento de la piel, lo que, acompañado de otros minerales del suelo (arcillas, sílice, berilio, etcétera) facilitaría el desarrollo de la podocóniosis <sup>(95, 214, 226-230)</sup>.

Los resultados de las concentraciones de Zr en las muestras estudiadas, todas por encima de 900 µg/g (media: 920 µg/g) sextuplica su promedio en la superficie terrestre (160 µg/g) y si bien es superior a lo observado por Frommel en Ocholo y otras regiones del Valle del Rift ( $618 \pm 87$  y  $323 \pm 12$  µg/g, respectivamente) es similar al observado en otros suelos volcánicos por Corachan <sup>(38)</sup> y Frommel <sup>(114)</sup>. Esas cifras tienen valor especial porque el Zr se desplaza fácilmente hacia horizontes profundos de los suelos, pudiendo incluso desaparecer de los superficiales sobre todo ante índices pluviométricos altos <sup>(231)</sup>.

No obstante, relación no indica necesariamente causalidad y, como ha apuntado Molla <sup>(232)</sup>, es posible que el papel del Zr en la patogenia de la podoconiosis sea facilitar la sequedad y agrietamiento de la piel de los pies, algo común en estos pacientes, con la consiguiente mayor facilidad para la entrada de micropartículas de minerales y bacterias.

Por otra parte, Frommel *et al* <sup>(114)</sup> encontraron tasas significativamente mayores de bario ( $830 \pm 297$  µg/g frente a  $268,2 \pm 142,8$  en Gambo), aunque no midieron las de cobalto, cromo, cobre, cinc y cadmio. Y, a su vez, Lar y Gusikit <sup>(233)</sup> estudiando la influencia de elementos traza sobre la salud en Panyam, un área agrícola a 1.200 metros de altitud en el centro de Nigeria con una prevalencia significativa de podoconiosis, observaron las concentraciones (en µg/g) indicadas en la tabla 34.

Al comparar esos resultados en Panyam con los de Gambo, allí destacan las tasas claramente superiores de cromo (203 vs 46,2), cobre (39 vs 17,5), cobalto (55,2 vs 15) y vanadio (157 µg/g vs 72,9 µg/g en Gambo); y aproximadamente la mitad de berilio (2,5 µg/g en Panyam y 4,57 en Gambo) y cinc (86,2 µg/g vs 176,1). Lamentablemente, en Panyam no se cuantificaron las tasas de circonio.

Elementos traza	Gambo (Etiopía) (Prieto <i>et al</i> )	Ocholo (Etiopía) (Frommel <i>et al</i> ) <sup>(114)</sup>	Panyam (Nigeria) (Lar <i>et al</i> ) <sup>(233)</sup>
Be	$4,57 \pm 1,7$	$4,6 \pm 0,5$	2,5
Co	$15 \pm 20,6$	-	55,2
Cr	$46,2 \pm 59,8$	-	203
Cu	$17,5 \pm 13,7$	-	39
V	$72,9 \pm 85,1$	$284 \pm 159$	157
Zn	$176,1 \pm 127,9$	-	86,21
Cd	~ 0,2	-	0,06
Zr	$920 \pm 288$	$618 \pm 87$	-
Ba	$268,2 \pm 142,8$	$830 \pm 297$	-

Tabla 34. Elementos traza (en µg/g) en suelos de Gambo, Ocholo y Panyam (Nigeria central).

A su vez, Brotzu *et al* <sup>(234)</sup> estudiaron los minerales en las montañas volcánicas de Boseti, en el Valle del Rift a 2.000 metros sobre el nivel del mar, en el macizo etíopico, encontrando concentraciones de bario muy similares a las de Gambo (267 µg/g y 268 en Gambo), y superiores de cobalto (50 µg/g) y cromo (107 µg/g), frente

a 15 y 46, respectivamente, en Gambo, (tabla 35). Pero las tasas de circonio (125 µg/g) y torio (1,9 µg/g) eran claramente inferiores a las de Gambo: 1,9 µg/g frente a 920 µg/g. Brotzu *et al* analizaron las tasas de estroncio, elemento no medido en Gambo ni en Ocholo, por lo que no podemos comparar los resultados.

Elementos traza	Gambo (Prieto <i>et al</i> )	Boseti (Brotzu <i>et al</i> )
Zr	920 ± 288 µg/g	125 µg/g
Co	15 ± 20,6	50
Cr	46,2 ± 59,8	107
Sr	-	487
Ba	268,2 ± 142,8	267
Th	16,9 ± 8,1	1,9

Tabla 35. Elementos traza en suelos de Gambo y Boseti

Finalmente, en nuestras muestras de suelos encontramos una concentración de cinc de  $176,1 \pm 127,9$  µg/g, superior a la media de la corteza terrestre (75 µg/g) y a la descrita por Lar *et al* (86,2 µg/g), pero, al igual que ocurre con cobalto y cromo, al no haberse demostrado que las sales de cinc sean dañinas por vía cutánea, es probable que estos elementos traza carezcan de influencia en la etiopatogenia de la podoconiosis<sup>(93, 235- 237)</sup>.

De estos resultados de los suelos se deduce que existe una notoria diferencia en las concentraciones de elementos traza entre regiones en las que existe podoconiosis, y, ante tasas similares de berilio, entre los otros elementos potencialmente relacionados con esa enfermedad, sólo el circonio se encuentra en Gambo y Ocholo a concentraciones claramente mayores que el promedio descrito en la corteza terrestre. Por ello lo más verosímil es que, desde elementos traza como berilio y circonio, hasta minerales mayoritarios como cuarzo y mica, y el tamaño e hidratación de las partículas de arcillas, sea el conjunto de todos ellos y su interacción con la predisposición genética, la base de la etiopatogenia de la podoconiosis.

## 6 Agua

### 6.1 Tierras, lluvia, ríos y lagos

Como en otras regiones de Etiopía, los *kebeles* del área de Gambo, región de Arsi Occidental, en el Gran Valle del Rift del África Oriental, sufren grandes variaciones estacionales e interanuales en la cantidad de lluvia que reciben y, por lo tanto, en el caudal de sus ríos y arroyos, así como en el agua de los pozos <sup>(238)</sup>. Sus ríos y arroyos forman una de las subcuencas del lago Langano, a 200 Km al sur de Addis Abeba. Este lago, a 1.600 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 230 Km<sup>2</sup>, recibe las aguas de pequeños ríos nacidos en las montañas Arsi. A su vez, por el río Hora Kelo drena sus aguas hacia el oeste en el lago Abiyata <sup>(239)</sup>. La estación seca dura desde octubre a febrero y, salvo en las épocas prolongadas de sequía, el aporte de lluvia (entre 900 y 1.700 mm al año; 1mm = un litro/m<sup>2</sup>) recogida en un 70% entre los meses de junio y septiembre, es suficiente para las necesidades de la población, los cultivos y los animales. Sin embargo, las sequías periódicas y la deforestación por acción del hombre (Fig. 74) junto con el cambio de pastoreo al regadío de los campos, ha conducido a que muchos de los ríos hayan visto disminuir su caudal y reducirse la superficie de los lagos, aumentando su salinidad <sup>(240-247)</sup>. En Gambo, a 2.200 metros sobre el nivel del mar y a unos 50 Km del lago Langano, la temperatura máxima es 26,6° C (mínima 10,4° C) y la estación de lluvias va de julio a septiembre, con un índice pluviométrico medio de 973 mm/año <sup>(248)</sup>.

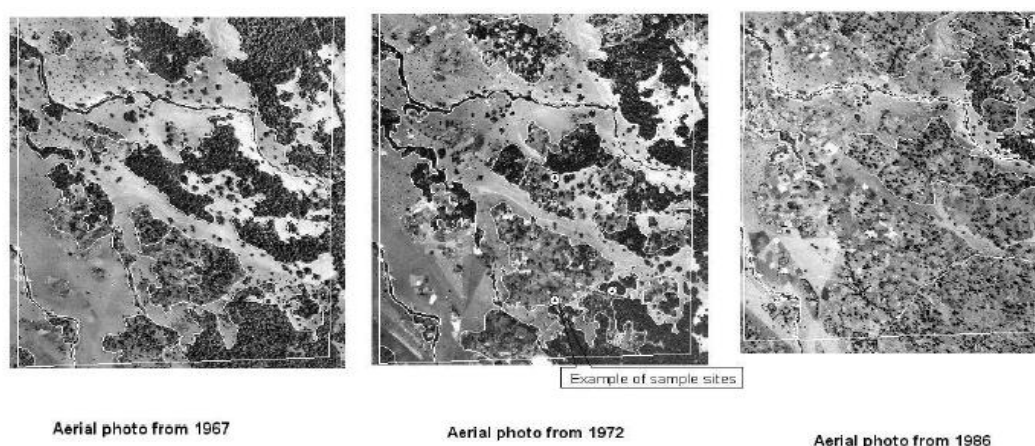


Figura 74. Fotos del bosque de Munessa-Sashemane en 1967, 1972 y 1986 tomadas de Demessie et al <sup>(248)</sup>.

El Valle del Rift en el África Oriental es un área extensa con valles estrechos y profundos entre montañas altas y escarpadas. Su prolongada actividad volcánica ha determinado la naturaleza de los suelos y la geoquímica de las aguas subterráneas y superficiales; una influencia que se refleja en sus características y calidad. La combinación de orografía, topografía y geología determina la distribución de las lluvias según la dirección de los vientos monzónicos procedentes de océano Índico, dando lugar a áreas cálidas, templadas o frías, a áreas húmedas o secas y a áreas abundantes en algunos elementos geoquímicos esenciales como el yodo o, por el contrario, escasas en ellos. Así, las tierras altas del centro, el sur, y entre ellas Arsi Occidental donde está Gambo, y, sobre todo, el suroeste de Etiopía son carenciales en yodo y, como vimos allí, es muy frecuente observar personas con bocio. En 1993 se calculaba que el 62% de la población etíope era deficiente en yodo, 14 millones tenían bocio, el 1 por 1000 sufría cretinismo y el hipotiroidismo causaba al menos 50.000 muertes antes del parto cada año <sup>(249 - 252)</sup>. Es probable que la altitud por sí sola no sea la única o principal responsable, ya que se ha observado la correlación de hipotiroidismo con áreas en las que las aguas superficiales contienen poco yodo (<10 µg/litro); y, por el contrario, el bocio es raro en tierras bajas como el centro de Valle del Rift, en la meseta de Arsi o en la depresión de Afar en el norte, en las que las aguas de pozos y manantiales tienen una notable concentración de yodo (> 200 µg/litro).

La alimentación debe jugar un papel significativo. Así, al carecer de pescados marinos por un lado, y por otro al estar basada en cereales escasos en yodo y vegetales ricos en tiocianatos y flavonoides, se explica la alta incidencia de hipotiroidismo en muchas áreas de Etiopía <sup>(252-254)</sup>. El anión tiocianato, SCN<sup>-</sup>, un inhibidor del transporte de yodo, se encuentra en vegetales que contienen tioglucósidos como col, repollo, brócoli y nabos. A su vez, los flavonoides (en mandioca, batata y brotes de bambú) inhiben la incorporación de yodo a las células tiroideas por el cotransportador sodio-yodo; y, además, interfieren con la tiroperoxidasa que cataliza la incorporación de yodo a la tirosina.

Por otro lado, la persistente actividad volcánica en el norte envía a la atmósfera y la tierra elementos volátiles y potencialmente nocivos como flúor, arsénico y litio (que inhibe la liberación de hormonas tiroideas y bloquea el receptor de TSH en las

células tiroideas<sup>(255)</sup>) que se disuelven directamente en las aguas subterráneas. Así, la fluorosis es frecuente en zonas cuya agua de uso doméstico procede de acuíferos inmersos en rocas volcánicas ácidas<sup>(256, 257)</sup>. Sin embargo, aunque sí se han detectado concentraciones altas de pesticidas como dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), las tasas de arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo no se han visto elevadas en aguas de lagos<sup>(258, 259)</sup>.

## 6.2 Análisis de las muestras de aguas

Aunque en las aguas subterráneas y superficiales se pueden analizar hasta 60 parámetros distintos, a la hora de estudiar las características de las aguas habitualmente sólo se determinan entre 10 y 20, los considerados fundamentales. Estos van desde el pH y conductividad eléctrica hasta los elementos presentes en ellas agrupados en función de concentraciones decrecientes según la clasificación de Freeze y Cherry en mayoritarios o fundamentales, minoritarios y elementos traza<sup>(260)</sup>.

- Elementos mayoritarios: a) Aniones:  $[(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}), \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-]$

b) Cationes:  $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{NH}_4^+$

c) Otros:  $\text{CO}_2, \text{O}_2, \text{SiO}_4\text{H}_4$  y  $\text{SiO}_2$

- Elementos minoritarios: a) Aniones:  $\text{F}^-, \text{S}^-, \text{SH}^-, \text{Br}^-, \text{I}^-, \text{NO}_2^-, \text{PO}_4^{3-}, \text{BO}_3^{3-}$ ;

b) Cationes:  $\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Li}^+, \text{Sr}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$

- Elementos traza:  $\text{Al}^{3+}, \text{Ti}^{4+}, \text{Co}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Cr}^{3+}$

### 6.2.1 pH y conductividad eléctrica (CE)

El pH juega un papel importante en las características de las aguas ya que influye en los procesos físicos, químicos y biológicos que acontecen en el medio acuático. En cualquier forma que se presente el agua, además de moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ , siempre habrá iones libres de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ).

El valor medio del pH en las muestras de agua recogidas en Gambo y analizadas en el Instituto Geológico y Minero de España, fue  $6,57 \pm 0,25$  (mínimo 6,38; máximo



6,82) y si se tiene en cuenta que los límites de potabilidad van desde 6,5 hasta 8,5<sup>(140)</sup>, la muestra A3010-1, con pH 6,38, no cumplía por ácida esa cualidad y otra (A3010-2) con pH 6,5 estaba justo en el límite inferior. Estos valores son similares a 5,64-8,14 (media 6,48) descrito por Yasin *et al*<sup>(261)</sup> en el suroeste de Etiopía o a 6,6 hallado por Alemu *et al*<sup>(262)</sup> en otra zona de la Oromia, e inferiores a  $7,26 \pm 0,40$  encontrado por Zewdu *et al* en el lago Haramaya, también en la Oromía<sup>(263)</sup>.

A su vez, la conductividad eléctrica (CE) de una solución es proporcional a la concentración de los sólidos e iones disueltos y se mide en microSiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ) o miliSiemens/cm ( $\text{mS/cm}$ ). La CE se correlaciona con la dureza, cualidad determinada en un 90% por la concentración de carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , principal sal disuelta en el agua (sobre todo ante  $\text{pH} > 8$ ) y en el 10% restante por la concentración de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Por ello, el grado de dureza de un agua de bebida puede clasificarse en función de la concentración de  $\text{CaCO}_3$  ( $1,4 \mu\text{S/cm}$  equivaldría a una concentración de  $\text{CaCO}_3$  de 1 ppm o 1 mg/l) tal como sigue: “blanda”  $\text{CaCO}_3$  0-60 mg/l; “media” 60-120 mg/l; “dura” 120-180 mg/l y “muy dura” si la concentración de  $\text{CaCO}_3$  es  $>180$  mg/l. A la vez, un agua se considera “muy blanda” si su CE es  $< 140 \mu\text{S/cm}$ ; “blanda” si está entre 140 y  $300 \mu\text{S/cm}$ ; “ligeramente dura”, CE entre 300 y  $500 \mu\text{S/cm}$ ; “moderadamente dura” si está entre 500 y  $640 \mu\text{S/cm}$ ; “dura” entre 640 y  $840 \mu\text{S/cm}$ , y “muy dura” si su CE supera los  $840 \mu\text{S/cm}$ .

La CE en nuestras muestras estaba comprendida entre 110 y  $187 \mu\text{S/cm}$ . Salvo una de ellas (la A3110-1) la que poseía la mayor concentración de anión bicarbonato (97 mg/l) y de sodio (27 mg/l) y cuya CE era  $187 \mu\text{S/cm}$ , propia de un agua blanda, la media de los valores obtenidos en las muestras analizadas es  $137 \mu\text{S/cm}$ , por lo que en conjunto deben ser consideradas aguas blandas. Esta cifra es algo inferior a la descrita por Alemu ( $192 \mu\text{S/cm}$ )<sup>(262)</sup> y claramente menor a la hallada por Yasin en algunas de sus muestras ( $366 \mu\text{S/cm}$ )<sup>(261)</sup>, Zewdu ( $488 \mu\text{S/cm}$ )<sup>(263)</sup>, Prabu ( $379\text{-}712$ )<sup>(264)</sup>, o Waldemariam (CE  $672,8 \mu\text{S/cm}$ )<sup>(265)</sup>. Recordemos que las aguas con dureza superior a 200 mg/l incrementan el tiempo de cocción de los alimentos, con el consiguiente mayor consumo de leña, y a la hora del lavado de la ropa forman menos espuma y precisan más jabón, con lo que facilitan su deterioro. (En los *kebeles* de

Gambo, al no existir cañerías para la conducción de agua, no se plantea el problema de las incrustaciones en las paredes y la obstrucción de su luz).

### 6.2.2 Sílice

La forma más frecuente de presentación de la sílice en la naturaleza es la cristalina (cuarzo, o sílice cristalizada en sistema trigonal trapezoédrico, con mucho la más abundante, y en menor proporción cristobalita y tridimita) y más raramente en estado amorfo (vidrio y tierra de diatomeas). El cuarzo, por su nula solubilidad a temperatura ambiente no se encuentra disuelto en las aguas superficiales o subterráneas. La sílice presente en las aguas subterráneas y superficiales deriva de la hidrólisis de feldespatos y silicatos como la tierra de diatomeas (material sedimentario amórfico soluble en agua derivado del esqueleto silíceo de las diatomeas, algas fosilizadas) y es sílice amorfa. Tras largos períodos de tiempo las diatomeas se acumularon en el sedimento de arroyos, ríos, lagos y océanos originando ese material desmenuzable fácilmente en un polvo cuyo tamaño de partículas va desde tres micras hasta un milímetro (habitualmente 10-200 micras) <sup>(266, 267)</sup>.

La sílice disuelta en las aguas naturales se encuentra como ácido tetraoxosilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) monomérico, que no comienza a disorciarse ( $\text{H}_4\text{SiO}_4 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ) hasta valores de pH superiores a 9, por lo que su solubilidad es prácticamente nula a los pH habituales del agua de bebida.

En las aguas superficiales de Gambo encontramos valores de sílice (amorfa) comprendidos entre 25,5 y 64,8 mg/l (media: 49,12 mg/l), similares a los 49,54 mg/l observados por Rango *et al* <sup>(257)</sup> y los 68 mg/l por Alemu *et al* <sup>(262)</sup>, que son superiores a la concentración media en las aguas subterráneas (de 17 a 25 mg/l) <sup>(268)</sup>.

### 6.2.3 Nitratos, aniones y cationes

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están muy relacionados con el ciclo del nitrógeno. Generalmente, el amonio,  $\text{NH}_4^+$  y el amoniaco libre,  $\text{NH}_3$ , aparecen sólo como trazas en aguas subterráneas naturales, aumentando su concentración cuando el medio está contaminado y es fuertemente

reductor (pérdida de oxígeno o ganancia de  $H^+$ ). Ambos son el producto final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea. Así, el nitrato ( $NO_3^-$ ) suele originarse en zonas superficiales o poco profundas en las que son enterradas las heces y otros desechos orgánicos. Ese anión es la forma más habitual y estable en la que el nitrógeno se encuentra en las aguas subterráneas y su concentración en aguas no contaminadas varía ampliamente, aunque no suele sobrepasar los 10 mg/l (*concentración máxima contaminante* para que un agua se considere potable).

En el análisis de las aguas de Gambo la concentración media de  $NO_2^-$  fue de 0,5 mg/l (dentro del rango de potabilidad) y la de  $NO_3^-$  era 21,1 mg/dl (0,5-39), similar a  $17,6 \pm 4.4$  observada por Zewdu <sup>(263)</sup>, también dentro del rango de potabilidad (límite máximo contaminante: 50 mg/l) y mucho menor por ejemplo que los 95 mg/l hallados por Yasin <sup>(261)</sup>, también en áreas con prevalencia significativa de podoconiosis <sup>(140)</sup>. (Debemos recordar que hervir el agua no disminuye la concentración de nitrato, sino que incluso la aumenta al disminuir el solvente por evaporación).

Aunque no se realizó el análisis bacteriológico de las aguas de Gambo, Desta <sup>(269)</sup>, Tabor <sup>(270)</sup> y Tsega <sup>(271)</sup>, han descrito que menos de un tercio de la población etíope tiene acceso a medidas de saneamiento y poco más de la mitad a agua potable segura. En consecuencia, dos tercios sufren a lo largo de su vida enfermedades relacionadas con el agua como cólera, disentería bacilar, diarrea hemorrágica por *E. coli*, hepatitis por virus A, sigheiosis, criptosporidiasis, giardiasis y fiebre tifoidea. No obstante, Prabu *et al* en los ríos Huluka y Alaltu, en el noroeste de la Oromía, describieron aguas con pH de 8,18 y conductividades eléctricas de hasta 788  $\mu S/cm$ , pero en las que la concentración de  $NO_3^-$  fue baja (entre 0,88 y 3,50 mg/l), indicando que las tasas de este anión son independientes de las propiedades físicas de las aguas <sup>(264)</sup>.

La concentración media de aniones en las aguas de Gambo demuestra cifras de **cloro** (5 mg/l) similares a las halladas por Melaku *et al* en el río Tinishu Akaki (4,5 mg/l) <sup>(272)</sup> y Seda *et al* <sup>(273)</sup> en el agua del grifo de Addis Abeba (5,7 mg/l), pero inferiores a los 18-60 mg/l observados por Prabu *et al* <sup>(264)</sup> (18-60 mg/l) en aguas de ríos. Las tasas de  $SO_4^{2-}$ , 15,2 mg/l, en nuestras muestras eran algo menores que los 22-49 mg/l de Prabu y muy inferiores a los 69-94 mg/l de Tafa <sup>(274)</sup>, también en aguas

superficiales, pero muy superiores a los 2,1 mg/l descritos por Seda. Las tasas de **fosfato**, ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (0,05 mg/l) fueron similares a las de Seda (indetectables), y menores que las halladas por Prabu (0,28-1,88), Desta (0,2-0,4) <sup>(269)</sup> o Zewdu en aguas del lago Haramaya <sup>(263)</sup> (0,58-1,50 mg/l). Estas diferencias son atribuibles a los sistemas de purificación de aguas del grifo en la capital de Etiopía. En general, la concentración de fosfato en las aguas es baja por la presencia de tasas altas de calcio, con el que forma sales sólidas de fosfato cálcico insolubles en agua.

Y, en cuanto a las concentraciones de **flúor** ( $\text{F}^-$ ), 0,5 mg/l, eran apropiadas para la bebida y fueron inferiores a las descritas por Zewdu *et al* (0,65-1,05 mg/l), los 0,14-8,0 de Gizaw *et al* <sup>(275)</sup> en diferentes puntos del Valle del Rift; los 1-8 y 2-14 mg/l encontrados por Malde *et al* <sup>(276)</sup> en aguas del lago Awash y en pozos en Wonji Soha, en la Oromía, centro del Valle del Rift y los preocupantemente altos ( $9,4 \pm 10,5$  mg/l) por Rango *et al* <sup>(257)</sup> en la cuenca del Ziway-Sala o los 206 y 264 mg/l descritos por Tekle-Haimanot *et al* <sup>(256)</sup> en aguas de los lagos Shala y Abijata, próximos al lago Langano, también en la Oromía. Como observaron Gizaw y Malde, la cantidad de flúor en agua se correlacionó con las concentraciones de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en todas las fuentes analizadas, lo que sugiere su origen a partir de un proceso geoquímico semejante. Y, por otro lado, si se tiene en cuenta que las necesidades diarias de flúor son 1,5 - 2,0 mg, se deduce el riesgo que los habitantes, sobre todo los niños, de esas zonas tienen de sufrir fluorosis dentaria (hipoplasia e hipomaduración de la dentina) y ósea, con aumento de la densidad y, a la vez, la fragilidad de los huesos. (Por el contrario, si las aguas llevan menos de 0,5 mg/l de flúor, aumenta la probabilidad de caries dental). Aunque la principal fuente natural de fluoruros inorgánicos son los minerales, los fosfatos utilizados como fertilizantes también aportan flúor y constituyen una causa importante de contaminación de suelos agrícolas y aguas de pozos, arroyos, ríos y lagos por ese elemento halógeno.

En cuanto a los cationes, las concentraciones medias de  $\text{Na}^+$  en las aguas de Gambo fueron de 14,2 mg/l, inferiores a los 8,6-67 de Zewdu <sup>(263)</sup> o los 85 mg/l hallados por Alemu <sup>(262)</sup>, pero superiores a los 2,77 mg/l de Seda <sup>(273)</sup>. A su vez, las tasas de  $\text{K}^+$  (6,4 mg/l) fueron superiores a los 1,20 de Zewdu o los 1,25 mg/l descritos por Seda. Por lo que respecta a las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  en aguas de Gambo (11,6 mg/l) eran superiores a los 3,79 mg/l descrito por Seda en Addis Abeba, pero inferiores a

los 25-75 mg/l de Prabu <sup>(264)</sup>, los 19-67 de Melaku <sup>(272)</sup> o los 17-267 mg/l de Zewdu. Y, finalmente, las concentraciones de  $Mg^{2+}$  (2,6 mg/l) fueron similares a las halladas por Seda (3,37 mg/l) o los 5,74 de Alemu <sup>(262)</sup>, pero inferiores a los 3,4-31,6 mg/l descritos por Melaku, los 16-60 de Prabu o los 23-67 de Zewdu, confirmando las grandes diferencias entre aguas de áreas con incidencia parecida de podoconiosis, y la idea de que algunas de ellas pueden aportar cantidades notables de este metal alcalinotérreo cuyas necesidades diarias recomendadas son de 300-400 mg/día <sup>(277)</sup>.

#### 6.2.4 Elementos traza en las muestras de agua

La concentración de los elementos traza (concentración <1 mg/l) depende de su origen, transporte y transformación por efecto del agua y la temperatura, así como de su eliminación mediante sedimentación, captación biológica e interacción con la matriz orgánica. Que un elemento se encuentre como traza en aguas naturales no significa que sea igual en minerales o rocas (por ejemplo, hierro, aluminio o titanio son elementos mayores en las rocas, pero se hallan como traza en las aguas); y a la inversa, elementos traza en las rocas como el cloro y el carbono, son elementos mayores en las aguas.

En las aguas de Gambo encontramos las siguientes tasas de elementos traza (en µg/l). Be: 0,16 (0,05-0,35); Al: 320,5 (48-1077); V: 1,22 (0,56-1,82); Cr: 0,62 (0,2-1,7); Mn: 3,22 (1,2-4,74); Fe: 200,3 (28-532); Co: 0,08 (0,05-0,19); Cd: 0,2 (0,2-0,2); Sb: 0,06 (0,05-0,12); Ba: 20,91 (4,27-31,5); Hg: 0,5 (0,5-0,5); Ti: 0,05 (0,05-0,05); Pb: 0,28 (0,2-0,56); Th: 0,07 (0,05-0,17) y U: 0,31 (0,05-1,3 µg/l). En la tabla 34 se comparan estos resultados con los de Reiman, Aschale, Mekonnen, Zewdo y Prabu, en muestras de aguas recogidas en otras áreas con podoconiosis.

	Reiman <sup>(250)</sup>	Aschale <sup>(278)</sup>	Mekonnen <sup>(258)</sup>	Zewdu <sup>(263)</sup>	Prabu <sup>(264)</sup>	Prieto
Be	0,005 - 5,91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05 - 0,35
Al	39,7 - 3.440	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48,5–1.077
V	0,093 - 235	4,87 ± 2,36	1,0 - 1,9	n.d.	n.d.	0,56 - 1,82
Cr	0,01 - 21,3	67,04 ± 119	0,2 – 83	n.d.	n.d.	0,2 - 1,7
Mn	0,1 - 2.441	1.540 ± 843	1,1 - 1.580	0,05 - 37	200– 800	1,2 - 4,74
Fe	1,5 - 18.860	1.075 ± 169	110 - 2.000	6,0 - 48	300-700	28,2 - 532
Co	0,02 - 3,07	2,62 ± 1,69	0,43 – 13	0,35 - 1,5	0,3 – 0,5	0,05 - 0,19
Ni	0,086 - 11,2	6,66 ± 3,29	0,77 – 13	0,27 - 41	n.d.	0,6 - 4,83
Cu	0,26 - 27	5,61 ± 1,89	6 – 300	0,09 – 0,25	< 0,2	0,41 - 4,72
Zn	1,1 - 5.140	25,5 ± 16,5	0,94 – 2	0,14 – 0,56	0,1– 0,35	2,0 - 9,07
As	0,016 - 96	1,46 ± 0,66	0,3 - 1,5	n.d.	n.d.	0,1- 0,78
Se	0,015 - 7,58	n.d.	0,02 - 0,63	n.d.	n.d.	0,5 - 0,5
Mo	0,002 - 78,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,2 - 0,71
Ag	0,02 – 0,021	n.d.	n.d.	n.d.	0,003	0,05 - 0,05
Cd	0,002- 6,41	0,06 ± 0,02	n.d.	n.d.	< 0,1	0,2 - 0,2
Sb	0,002 - 1,78	42,8 ± 13,2	n.d.	n.d.	n.d.	0,05 - 0,12
Ba	0,23 - 305	132,2 ± 46,5	n.d.	n.d.	n.d.	4,27 - 31,5
Hg	0,01 – 0,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5 - 0,5
Ti	0,3 - 264	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05 - 0,05
Pb	0,023 - 46	3,13 ± 2,6	n.d.	n.d.	n.d.	0,20 - 0,56
To	0,002 - 1,59	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05 - 0,17
U	0,005 - 48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05 - 1,3

Tabla 36. Elementos traza (en µg/l) en aguas de áreas con podoconiosis. (n.d: no determinado)

Reiman: ríos del Este del Valle del Rift. Prabu: aguas de los ríos Huluka y Alaltu. Aschale: río Little Akaki. Zewdu: aguas del lago Haramaya. Mekonnen: aguas de los lagos Awasa y Ziway.

Como cabía esperar, por el tipo de rocas (máficas y félsicas) de las que derivan estos elementos traza, destacan las cifras más altas de hierro, manganeso y aluminio. Pero lo que llama la atención, además de que algunos autores no comunican los datos de la totalidad de los elementos traza, es la enorme disparidad entre los resultados

obtenidos dentro de una misma área (Tabla 36). Una disparidad que es especialmente llamativa en los casos de cinc, plomo, vanadio, antimonio, selenio o bario, además de los propios hierro, manganeso y aluminio. Ello nos hace pensar que el papel del agua en la podoconiosis obedece más a su papel hidratante de las arcillas y otros minerales, facilitando así la adhesión del barro a la piel y su penetración a su través, que al contenido en minerales o en elementos traza.

Por otro lado, aunque sin relación con la podoconiosis, Dsikowitzki *et al* detectaron en las aguas de los lagos Awassa y Koka tasas significativas de plomo (0,6-1,4 µg/l) y arsénico (0,57-3,0 µg/l). Además, aunque las concentraciones de mercurio en el agua (<0,1 µg/l) no eran tóxicas, sí lo eran las acumuladas en hígado y músculos de barbos predadores y comestibles de los lagos Awassa y Koka <sup>(279)</sup>, lo que puede representar un peligro para la población que los pesca y se alimenta de ellos.

## 7 **Biopsias**

Ya en 1960, en uno de los primeros trabajos sobre podoconiosis en Kenia y Etiopía, Cohen <sup>(28)</sup> realizó biopsias cutáneas a algunos pacientes y observó hiperqueratosis, engrosamiento del *corium*, infiltrados perivasculares de células plasmáticas y fibroblastos, junto con lagos de linfa en la dermis y tejido subcutáneo. Sin embargo, el examen del tejido conectivo alrededor de las venas safenas no demostró dilatación de los troncos linfáticos ni de ningún otro vaso linfático. Por otro lado, Blundell, Herdenson y Price <sup>(168, 172)</sup>, vieron micropartículas de arcillas en los fagosomas de los macrófagos en la dermis de los pies, además de fibrosis y obstrucción de los linfáticos subdérmicos; Price y Henderson <sup>(168)</sup> encontraron minerales birrefringentes y metales traza como aluminio y hierro en ganglios inguinales y Fyfe comprobó la existencia de partículas de sílice en adenomegalias regionales <sup>(173)</sup>.

Por nuestra parte, en los seis pacientes en los que se realizaron biopsias cutáneas encontramos hiperqueratosis, acantosis e hipergranulosis en la epidermis y, además, en dos de ellos se estudió la presencia de metales traza.

### 7.1 Elementos traza

Aunque en los suelos de Gambo los metales traza más abundantes fueron bario ( $830 \pm 297 \mu\text{g/g}$ ); berilio ( $4,6 \pm 0,5$ ); vanadio ( $284 \pm 159 \mu\text{g/g}$ ); circonio ( $618 \pm 87 \mu\text{g/g}$ ) y cinc ( $176,1 \pm 127,9 \mu\text{g/g}$ ); y en las aguas lo fueron aluminio (48-1077, media  $320,5 \mu\text{g/l}$ ); hierro (28-532, media  $200,5 \mu\text{g/l}$ ); bario (4,27-31,5; media  $20,91 \mu\text{g/l}$ ); cinc (2-97  $\mu\text{g/l}$ ; media 4,87) y manganeso (1,2-4,74  $\mu\text{g/l}$ ; media 3,22); en las biopsias (Tabla 37) destacaban las tasas de cinc (32,7 y 26,8  $\mu\text{g/g}$ ) y en menor medida las de bario (1,20 y 1,25  $\mu\text{g/g}$ ). A la vez, las concentraciones de selenio, molibdeno y cobalto fueron inferiores a 1  $\mu\text{g/g}$  e indetectables las de berilio, vanadio, níquel, cobre, arsénico, plata, cadmio, antimonio, titanio, plomo, torio y uranio. No se cuantificaron otros metales traza como aluminio, hierro y circonio en las aguas por imposibilidad técnica.

Si bien estos resultados sólo son cuantitativos y limitados a dos biopsias, al encontrarse cinc y bario en una notable concentración a la vez en suelos y aguas, indicaría que esos metales son los más adsorbidos por la piel. Como sus reactividades respectivas y sus masas atómicas en Dalton (Zn: 65,4; Ba 137,34; Be: 9,01) son muy diferentes y sus radios atómicos en picómetros (pm) no lo son tanto (Zn: 142 pm; Ba: 253; Be: 111,3 pm) <sup>(280)</sup> es posible que sea su interacción con las micro y nanopartículas de minerales, como arcillas y sílice, la responsable de su adsorción, incrustación y penetración a través de la piel.

**MUESTRAS DE BIOPSIAS ( $\mu\text{g/g}$ )**

Muestra	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb	Th	U
B1-ASOKA	< 0,1	< 0,1	< 1	0,11	< 0,5	< 0,1	32,7	< 0,1	0,64	0,49	< 0,1	< 0,2	< 0,1	1,20	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1
B2-BOMBASO	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,5	< 0,1	26,8	< 0,1	< 0,5	0,84	< 0,1	< 0,2	< 0,1	1,25	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1

Tabla 37. Elementos traza en biopsias.

Del cinc se sabe que puede producir reacciones de hipersensibilidad y granulomas <sup>(92, 93, 281, 282)</sup> y en cuanto a la toxicidad del bario por vía cutánea, hay pocas referencias en la literatura y, además, en todas ellas no se cuantificó su concentración en la piel



<sup>(282-284)</sup>. En principio, por la alta polaridad de sus sales en los suelos, el bario no atravesaría la piel intacta, pero sí si está erosionada.

## 7.2 Micosis

Las micosis cutáneas y subcutáneas se producen y desarrollan a partir de la inoculación traumática (feohifomicosis, eumicetoma, esporotricosis y cromoblastomicosis) o por vía hematógena (criptococosis, aspergillosis e histoplasmosis) <sup>(286)</sup>. Las propias características de la podoconiosis y la habitual higiene insuficiente constituyen un medio excelente para las infecciones bacterianas y el desarrollo de micosis tanto superficiales como subcutáneas y profundas.

En el estudio de factores relacionados con la podoconiosis, se realizó el raspado de aquellas lesiones como depigmentación y excrecencias confluentes con aspecto de musgo o verrucoso, sugerentes de sobreinfección fúngica. Como para asegurar el diagnóstico de micosis profundas hubiera sido necesario biopsiar esas lesiones y las muestras de tejido ya se habían dirigido al estudio anatomopatológico y la determinación de los metales, no se tomaron otras biopsias para el estudio de hongos y el estudio se limitó al diagnóstico de las micosis superficiales. Así, se tomaron muestras en 19 pacientes, siendo positivo el cultivo para hongos en 17 de las 19 muestras.

Así se consideraron los resultados positivos como colonización cutánea por hongos no patógenos los identificados en el examen microscópico directo con hidróxido potásico y el cultivo en medio de Saboureaud (agar con glucosa y peptona) <sup>(287)</sup>. Se encontraron dermatofitos en 12 pacientes: *Trychophyton rubrum* (n=4), *T verrucosum* (n=3), *T violaceum* (n=2), *T tonsurans* (n=1), *T verrucosum* y *Microsporum audouinii*; en cinco pacientes se identificó un hongo no dermatofito (*Geotrichum spp*, n=3, *Exophiala spp*, n=1, *Mucor* n=1); y en un paciente se identificaron dos hongos diferentes (*T verrucosum* y *M audouinii*).

Aunque en la literatura se describe la presencia frecuente de micosis cutáneas en los pacientes con podoconiosis <sup>(147, 150,175, 288)</sup>, no se caracterizan los hongos encontrados probablemente por considerarlos algo secundario y una consecuencia de la mala higiene. En nuestra opinión, la colonización por hongos dermatofitos es un problema

común en el ámbito de pobreza en el que nos encontramos; la humedad constante entre pliegues cutáneos neoformados o hipertrofiados provoca una maceración continua en la piel de estos enfermos, que facilita mucho la presencia de hongos dermatofitos y otros. El tratamiento aquí debe ser fundamentalmente el de la higiene y el cuidado de la piel mediante antisépticos; los hongos van a producir una gran carga de colonización de la capa córnea de la epidermis sin considerarse patógenos.

## **8 Experiencia y análisis del porqué del olvido de la podoconiosis. Dificultad del seguimiento de los pacientes**

Al igual que otras enfermedades prevenibles y olvidadas, la podoconiosis afecta a poblaciones que viven en las áreas tropicales más pobres de la Tierra, en áreas concretas del mundo llamado “en desarrollo”. La ausencia de estadísticas fiables dificulta el esfuerzo por sacarlas de la sombra, y como el resto de *enfermedades olvidadas*, recibe poca o ninguna atención en gran medida porque las poblaciones afectadas carecen de influencia económica y, por lo tanto, política. Todavía en 2007 Davey y Davenport <sup>(175)</sup> se preguntaban en Lancet: *Podoconiosis: the most neglected tropical disease?* Y la OMS esperó hasta 2011 para incluir la podoconiosis en la lista de “enfermedades tropicales olvidadas” <sup>(160)</sup>, año en que también los CDC sólo consideraban como tales las enfermedades parasitarias y bacterianas <sup>(160, 289, 290)</sup>.

### **8.1 Dificultad del seguimiento. La pobreza como primer factor**

Oomen, ya en 1969, había descrito que esta enfermedad no sólo era más frecuente en zonas de clima húmedo, *woina dega* en amhárico, situadas entre 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar, sino que afectaba sobre todo a personas de las clases sociales más bajas, en especial en zonas rurales <sup>(30)</sup>. A su vez, la OMS en 1983 apuntaba que “la prevalencia de podoconiosis se encuentra directamente relacionada con la cantidad de personas que practican descalzas la agricultura en un área con elefantiasis, y se puede reducir reconociendo al individuo en una etapa pre-elefantiásica”. Y, asimismo, postulaba que esta enfermedad “Se puede frenar con una o varias de las siguientes medidas: 1) el uso de calzado durante las labores agrícolas;

2) el cambio de ocupación (a actividades no agrícolas en zonas donde es prevalente), y 3) la emigración a zonas sin elefantiasis”, para finalizar: “El uso de cremas modernas para proteger la piel de los pies podría ser una posibilidad terapéutica en el futuro”. Afortunadamente, en el boletín de la OMS de 2015 el enfoque de Deribe et al <sup>(291)</sup> era diferente, descartaba el abandono del campo y sostenía que las medidas preventivas debían centrarse en el uso habitual de zapatos, la higiene de pies y piernas, y la cobertura de los suelos de las chozas con esteras o tablas de madera.

Como la podocóniosis no es una enfermedad infecciosa, parasitaria ni contagiosa, la Organización Mundial de la Salud es optimista en cuanto a su control e incluso eliminación mediante acciones preventivas sencillas. Así, ha llegado a postular que estará erradicada de un país cuando el 95% de los pacientes tenga más de 15 años a lo largo de una década y cuando al menos el 95% de los enfermos reciban tratamiento adecuado, algo que se considera realizable. En esta línea, el Gobierno de Etiopía inició en 2013 el denominado *National Neglected Tropical Disease (NTD) Master Plan*, comprometiéndose a lograr en 2020 el objetivo de la OMS de erradicar las “enfermedades tropicales olvidadas” endémicas del país: oncocercosis, filariasis linfática, geohelmintiasis, esquistosomiasis y podocóniosis <sup>(293)</sup>. Un objetivo ambicioso y dudosamente llevable a la práctica en pocos años, ya que la actividad sobre el terreno resulta especialmente compleja y en demasiadas ocasiones los esfuerzos son infructuosos. Por ello, y sin ánimo de ser pesimista, tras nuestra limitada experiencia de seis meses en Gambo, pensamos que hay motivos para moderar el optimismo, motivos que se analizan en las próximas líneas.

En los últimos cincuenta años la situación apenas ha cambiado en Gambo y otras muchas zonas rurales de Etiopía, lo que conduce, por un lado, a considerar el grave problema de la pobreza en áreas extensas de África y, por otro, a la realidad objetiva que representan las *enfermedades olvidadas*. Si no se conoce que existen, o si no se les presta la debida atención, ¿cómo podrá cambiar la situación? Por ello, lo primero, y quizá más importante, sea reconocer el problema y partiendo de ahí tratar de buscar soluciones. Idealmente, el cambio podría ser profundo y a escala global pero, siendo realistas, la equidad en la distribución de recursos y riqueza no se producirá a corto o medio plazo y, probablemente, tampoco a la larga.

La geografía, la historia, la demografía y las infraestructuras de Etiopía son realidades que también deben tenerse en cuenta. El idealismo debe ir en paralelo con el pragmatismo y como ya vieron otros muchos, y mucho antes que nosotros, las enfermedades olvidadas deben ser abordadas a través de escuelas, agua potable y comunicaciones, mejora del nivel de vida y, aunque no sea el caso de la podoconiosis, vacunas. De ahí que, por el momento, nos parece que lo más adecuado por realizable sea recurrir a estrategias a pequeña escala en primer lugar a través de escuelas y educación (y ahí la Misión de Gambo con sus escuelas es ejemplar) y, algo mucho más difícil, el desarrollo de las comunicaciones que se traducirá en la mejora de las condiciones de vida de la población.

## 8.2 Educación

La alfabetización es el primer indicador del estado de la educación en un país y su base es la enseñanza elemental. Es obvio que la alfabetización aumenta las capacidades de las personas, incrementa su productividad y mejora la calidad de vida. El analfabetismo sigue siendo un problema endémico en la mayoría de los países en “vías de desarrollo” y aún hoy la mitad de la población del África subsahariana sigue siendo analfabeta. Y el punto de partida para evitar esa lacra es la educación primaria. A este respecto, cómo no recordar aquello que dijo don Gregorio Marañón: “En la formación de una persona la universidad es un sumando, la enseñanza media un factor y la escuela primaria un exponente”.

Aunque la alfabetización ha sido definida de formas diferentes, nos parece que la más sencilla es la que propuso la Unesco en 1992: “Una persona alfabetizada es aquella que es capaz de leer, entender y escribir un texto sencillo cada día de su vida”<sup>(294)</sup>.

Ese elemento fundamental de la estructura de las personas depende en demasiadas ocasiones del lugar donde vive, de la edad y el sexo. Así, el analfabetismo es mayor en áreas rurales que en urbanas, las niñas son escolarizadas en menor medida que los niños y, además, un alto analfabetismo entre mayores de 25 años es un índice de un acceso limitado a la educación primaria en el pasado. Es evidente que saber leer y escribir aumenta la capacidad de aprendizaje de los individuos y su productividad en

todos los sentidos, ya que alguien educado aprende más y puede realizar más actividades.

La inversión en educación primaria produce más beneficios que cualquier otro tipo de inversión material. Rendimientos no sólo económicos, ya que las personas alfabetizadas cuidan mejor su alimentación y su salud y ello se traduce en mayor autocuidado de los adultos y una mejor atención de los niños por parte de sus madres, el cumplimiento adecuado de las vacunaciones y la consiguiente reducción de la mortalidad infantil. Pero es que, además, la educación de los padres determina la escolarización de los niños y su futura actividad laboral. Por lo tanto, la expansión de la alfabetización es un factor esencial en el desarrollo económico y social ya que educación, nutrición y salud están interrelacionadas y son complementarias. La educación puede cambiar el círculo vicioso de pobreza, analfabetismo, malnutrición y enfermedad en el círculo virtuoso de cultura, salud, equidad y desarrollo sostenible (295, 296).

Pero no basta con que los niños vayan un día o un mes a la escuela, porque es necesario que como mínimo completen el primer ciclo de la educación básica y aprendan a leer y escribir bien. Así, se asume que se necesita un mínimo de cuatro años de manera continuada para conseguir y retener esa educación elemental en lengua y cálculo, medios básicos para cualquier otro tipo de aprendizaje y actividad. Sin embargo, con frecuencia eso no se cumple ya que en los países en vías de desarrollo hay un alto grado de absentismo escolar, sobre todo en hogares con bajos ingresos.

Como ocurre en Gambo, un factor que limita la escolarización es la dificultad en el acceso a la escuela. La distancia obstaculiza o incluso impide en demasiadas ocasiones la escolarización, de ahí que sea necesario acercar la escuela a una distancia razonable a los poblados para facilitar la incorporación de los niños, y en especial de las niñas, las más perjudicadas por el factor distancia. Y simultáneamente debe considerarse la *calidad de la escolarización*, elemento esencial para la incorporación y permanencia en la escuela. Si la infraestructura es mala, si la cualificación de los docentes no es adecuada o si el material escolar no cumple unos mínimos de calidad, se resienten la asistencia y el aprendizaje (297, 298).

Junto a los previos deben considerarse otros factores de tipo extraescolar como son: a) los recursos económicos de los padres, ya que en un hogar con economía de subsistencia es difícil vestir, calzar, alimentar y adquirir material escolar para los hijos, y b) las enfermedades y la malnutrición de los niños. Cuando los padres tienen unos recursos suficientes y comprenden los beneficios que tiene la educación, se involucran activamente en facilitar los medios materiales para ella y animan más a sus hijos a que acudan y se apliquen en la escuela. Pero con frecuencia se olvida que si los niños están mal alimentados o enfermos no pueden concentrarse y tener un buen rendimiento escolar aunque lo pretendan. Así, está demostrado que existe correlación entre una insuficiente ingesta de proteínas, la denominada *Protein-Energy Malnutrition*, y el desarrollo físico y cognitivo <sup>(299)</sup>. Una relación que también existe entre el bajo rendimiento de muchos pequeños en países tropicales y subtropicales por su frecuente infestación por parásitos intestinales. Recordemos que muchos de ellos están infestados por geohelminths <sup>(184, 300, 301)</sup>, causantes de anorexia, malnutrición, malabsorción intestinal, anemia, hipoproteinemia e hipotiroidismo.

Otro problema añadido es la escasez de maestros, y en especial de maestras, en zonas rurales o remotas. Por ello es necesario recurrir a incentivos como facilitarles alojamiento, acceso a programas de formación y, por supuesto, económicos, ya que la vocación docente suele terminar por sucumbir ante las dificultades de un ambiente pobre, incómodo u hostil. No olvidemos que los maestros vocacionales y motivados y que dedican tiempo a su propia instrucción hacen que sus alumnos lean más y mejor.

En este sentido, desde destacarse la ayuda internacional, como la proporcionada por organizaciones internacionales como el Banco Mundial o UNICEF desde los años 60, o por Alemania que, desde 1995 hasta 2003, permitió al Gobierno de Etiopía inaugurar 48 escuelas primarias en 12 distritos de Tigray y 113 escuelas en la Oromía. Obras notables pero sin duda aún insuficientes.

En suma, cualquier intento de erradicar la podoconiosis debe empezar por la educación y las escuelas, algo que es necesario aunque no suficiente y que no precisa grandes inversiones. Probablemente, la mayor aportación que podemos hacer los médicos en los *kebeles* cercanos a Gambo sea enseñar a niños y adultos cómo se produce esa enfermedad, cómo prevenirla y las medidas básicas de su tratamiento. Y,

con la podoconiosis, algunas otras como las parasitosis, las infecciones cutáneas y las diarreas infecciosas. No inventamos nada, ya que eso está en las dos palabras que figuran en el lema de la Real Sociedad Matritense de Amigos del País, ejemplo de la Ilustración Española de los siglos XVIII y XIX: ‘*Socorre enseñando*’ <sup>(302)</sup>. Partiendo de la premisa del altruismo, pensamos que pocas cosas son tan baratas y a la vez tan productivas como el ejemplo y las palabras del que sabe y quiere enseñar, un lápiz, una goma de borrar, un cuaderno y una enciclopedia elemental.

En este punto y aunque sólo sea de manera marginal, conviene hacer una reflexión crítica sobre la acción de muchas de las llamadas “organizaciones no gubernamentales” (ONGs). Sin dudar de su buena voluntad, con su actitud habitualmente “buenista” de dar por dar han ido creando una actitud pasiva y mendicante en los habitantes de los poblados de Gambo que esperan recibir dinero o bienes materiales sin poner nada de su parte ni medios para salir de su situación. Y es que la auténtica ayuda no está en regalar ropa, dinero o comida, sino en intentar que los receptores de la misma aprendan activamente cómo llegar a ser autosuficientes.

Al eliminar las ideas equivocadas respecto a su causa, la educación facilitará las medidas de prevención como el uso de calzado, la colocación de esteras en los suelos de las chozas y contribuirá a incrementar las medidas de higiene de los pies; y, además, limará las desigualdades entre sexos, mejorará las condiciones globales de vida y ayudará a reducir la pesada carga que representa el estigma de la podoconiosis para los pacientes <sup>(303, 304)</sup>.

Pero aunque reduzca su prevalencia, la educación por sí sola no erradicará la podoconiosis y necesitará que en paralelo se consideren otros factores como son las infraestructuras (agua, medidas de saneamiento, electricidad y comunicaciones) y el grave problema de la deforestación.

### 8.3 Médicos y enfermeras

Con unos 2.000 médicos en total y menos de 4.000 enfermeras y comadronas en 2006 para una población entonces de ochenta millones de habitantes, la falta de personal sanitario es uno de los problemas más graves de Etiopía. Aunque el Gobierno y el sector privado han construido ambulatorios y algunos centros

sanitarios, han fallado los métodos para retener a los médicos. Así, muchos de ellos emigran a lugares con mejores condiciones de vida, calculándose que más del 80% de los hospitales fuera de Addis Abeba carecen de médicos suficientes. La naturaleza humana es la que es y a pesar de los incentivos económicos, por mucha vocación y altruismo que se tenga y por muy elevado que sea el espíritu, debe ser casi imposible ejercer la Medicina durante años en áreas remotas y rodeado de miseria e ignorancia. Y es que no basta con la remuneración para que los médicos permanezcan sobre el terreno. De ahí que esté en marcha un plan de incentivos en forma de construcción de casas y centros sanitarios, facilitación de vehículos y programas de formación con el objetivo de conseguir que en 2020 la proporción llegue a ser de un médico por 8.000 habitantes <sup>(305, 306)</sup>.

#### 8.4 Infraestructuras

##### **8.4.1 Agua y saneamiento**

Un principio básico de la medicina preventiva es que “sin agua no hay higiene, sin higiene no hay salud y sin salud no hay progreso”. Un principio que se cumple inexorablemente en Gambo, un lugar en el que en los primeros días de nuestra estancia nos sorprendió ver cómo adultos y niños mostraban su alegría cuando veían llover. El agua que caía de las nubes significaba la vida de la tierra y con ella de las personas y los animales.

A pesar de que la OMS se ha mostrado satisfecha porque en 2010 se cumplieron los “Objetivos de Desarrollo del Milenio” de 1990 con respecto al agua, como era conseguir que en 2015 el 88% de la población mundial tuviera acceso a fuentes seguras de agua, hoy todavía carecen de ellas unos 319 millones de personas del África subsahariana. Y simultáneamente, 695 millones de personas carecen de acceso a medidas de saneamiento sólo en esa región del mundo <sup>(307)</sup>.

Sometida periódicamente a sequías debidas al fenómeno de “El Niño” y con un 83% de su población viviendo en áreas rurales, en 2012 se calculaba que sólo el 38% de los etíopes en su conjunto tenía acceso a agua potable. El 91,5% de los que vivían en áreas urbanas disponían de ella a una distancia menor de 500 metros, y el 35% de los habitantes de las áreas rurales la tenían a más de 1.500 metros. En esas áreas, más de



la mitad de los *Health Extensions* o puestos avanzados de salud carecían de acceso a una fuente adecuada de agua a menos de 500 metros. Y, a la vez, unos 28 millones defecaban habitualmente al aire libre en 2015 <sup>(308-311)</sup>.

En este sentido el pueblo de Gambo es privilegiado ya que posee tres pozos profundos con sistemas de bombeo de agua a otros tantos grifos, de forma que sus habitantes disponen de suficiente agua potable a pocos minutos de distancia. Pero ese no es el caso en los *kebeles* aledaños a Gambo, en los que con frecuencia deben recorrer distancias de más de un kilómetro hasta conseguir agua y no siempre segura.

Las iniciativas para facilitar agua potable a una región deben considerar las condiciones físicas del territorio, la distribución de la población, sus modos de vida y su situación socioeconómica. Así, en el caso de Gambo, con una orografía difícil, gran dispersión de la población y una economía pobre, sería impensable hacer llegar una tubería con agua limpia a cada choza o a los *kebeles* de los alrededores. Por ello, el Gobierno etíope inició en 2005 un programa para animar a los dueños de las “casas” de las regiones de Amhara y la Oromía a hacer sus propios pozos para fomentar el autoabastecimiento de agua. Así, ese año se creó el *Oromia Regional Water Bureau* que, además de financiar el transporte de agua en camiones cisterna a Arsi, Bale, Hararge, Sheva y Arsi Occidental, facilita subsidios para la construcción de pozos y sus resultados están siendo positivos <sup>(312)</sup>. No obstante todo depende de la lluvia, de los sistemas de conservación del agua en pantanos, depósitos y aljibes, y del cambio climático con progresivo acortamiento de la época de lluvias.

La “Gran Presa del Renacimiento Etíope”, en el Nilo Azul, en el Oeste, pronto en acción, y los pantanos Gilgel Gibe I y II en el río Omo, en la región de los Estados, Pueblos y Nacionalidades del Sur, ya en funcionamiento; y la gran presa Gibe III, que también en el río Omo será la tercera más grande de África, constituyen las grandes reservas hídricas de Etiopía. Reservas que, junto a la gran producción de electricidad, podrán aportar agua segura a sus habitantes.

Prescindiendo de más cifras precisas, que terminan por abrumar y llevan a impermeabilizarse ante los problemas, sí debemos recordar que las diarreas de etiología infecciosa son la tercera causa de muerte en menores de cinco años, y que millones de niños y adultos sufren malnutrición crónica por falta de agua, medidas

básicas de higiene y de sistemas de saneamiento del agua de bebida y de tratamiento de aguas fecales. Los capítulos de letrinas y tratamiento de aguas negras para evitar la contaminación de pozos, ríos y manantiales implican obras de ingeniería civil que, además de la colaboración de organismos internacionales como UNICEF y el Banco Mundial, exigen estudios geológicos y técnicos e inversiones sólo al alcance de los Estados. De ahí que ante el objetivo marcado por la OMS de lograr que “la defecación al aire libre se elimine entre las poblaciones más pobres de las zonas rurales en 2030”, sólo queda desear que se concrete y pase de los despachos al terreno <sup>(313 - 316)</sup>.

#### **8.4.2 Carreteras**

Las comunicaciones en general y las carreteras en particular son elementos esenciales para el desarrollo de un país. Por un lado, estructuran los territorios al facilitar el desplazamiento de las personas; y, por otro, al permitir la llegada segura, rápida y cómoda de recursos materiales y personales, mejoran la producción de las tierras y aumentan los empleos agrícolas. Todo ello facilita la asistencia de los niños a las escuelas y el desarrollo demográfico y económico de las regiones. Cómo dudar que eso se traduce en beneficio de las condiciones higiénico-sanitarias y sociales de sus habitantes <sup>(317 - 321)</sup>. Por lo tanto, para reducir la pobreza y mejorar la situación de esas personas, es necesario llevar carreteras si no de asfalto o cemento, sí al menos de piedra (quién no recuerda los adoquines de las viejas carreteras europeas o el ejemplo de las calzadas romanas) a los poblados de las tierras altas de la meseta etíope. Con ello se evitarán los barrizales que se forman en los caminos dificultando el desplazamiento de personas, animales y mercancías.

Así, por ejemplo, Gambo carece de carretera y a este pueblo se accede en un viejo autobús por una empinada pista forestal de 18 kilómetros que la une con Arsi Negele. Ésta es una ciudad de unos 45.000 habitantes a 2.000 metros sobre el nivel del mar y a 225 km de Addis Abeba, que posee electricidad y teléfono y por ella pasa la carretera con un tráfico caótico de automóviles, camiones y animales, que va desde la capital del país hacia el sur hasta Awassa. En la época de lluvias esa pista de tierra se vuelve especialmente peligrosa y los accidentes son frecuentes.

Como en otros aspectos de las infraestructuras, hay mucho por hacer en Etiopía y sólo cabe desear que la *Ethiopian Road Construction Corporation*, creada en 2011 por el Gobierno con la ayuda financiera del Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo y la colaboración de China, consiga sus objetivos de ampliar y mejorar la actual red de carreteras y puentes. Y, asimismo, la *Ethiopian Railway Corporation*, con ayuda económica internacional está modernizando la línea férrea que une Addis Abeba con Djibuti y tiene previsto inaugurar en 2016 un ramal del mismo hasta Awash y una línea nueva hasta Bedele, a 200 Km al oeste de la capital.

### 8.4.3 Fuentes de energía

La principal fuente de energía en las áreas rurales de Etiopía es la leña obtenida de la tala de árboles; una fuente de baja eficiencia, contaminante y además, por su repercusión en los bosques, insostenible. La combustión incompleta de la madera produce grandes cantidades de humo en casas-chozas mal ventiladas que causan graves problemas de salud sobre todo en niños pequeños y mujeres. Y no sólo en las áreas rurales las mujeres son las que llevan la leña al domicilio familiar, ya que también en los barrios pobres de Addis Abeba, más de las dos terceras partes de ese combustible son acarreados por las mujeres.

La energía eléctrica es esencial para mejorar la educación, la salud y la producción de la tierra en áreas rurales. Se calcula que Etiopía posee un potencial hidroeléctrico de 45.000 MW, sólo superado en África por la República Democrática del Congo. Sin embargo, unos sesenta millones de etíopes, el 65% de la población, sobre todo los habitantes de las tierras altas donde sólo el 5% la posee, carece de electricidad. He ahí otra de las asignaturas pendientes de los Gobiernos etíopes <sup>(322-325)</sup>. Una asignatura que aprobarán con las grandes presas y sus inherentes plantas hidroeléctricas en construcción. Sólo la Gran Presa del Renacimiento Etíope, con cinco kilómetros de longitud y 150 metros de altura, y que deberá empezar a funcionar en 2017, proporcionará unos 6.000 megavatios (MW); y la Gilgel Gibe III, con sus 610 metros de longitud, 243 metros de altura y una capacidad de 14 Km<sup>3</sup>, aportará 1.870 MW/año, también a partir de 2017. Su importancia se deduce por comparación, ya que hasta 2007 la producción total de electricidad de Etiopía era

814 MW/año. (Por ejemplo, sólo la central nuclear de Almaraz en Cáceres produce 930 MW de potencia eléctrica al año).

Precisamente esos grandes embalses son motivo de sus litigios internacionales <sup>(326)</sup>, ya que, por un lado, reducirá hasta un 85% el caudal del Nilo Azul (fuente de agua de Sudán y Egipto) y, por otro, al embalsar las aguas del río Omo, en el sur, menguará las que recibe el lago Turkana, en Kenia.

El Banco Mundial, a través de los proyectos *Energy Access and Electricity Access Rural Expansion* y *Electricity Access Expansion Project*, en colaboración con el Gobierno etíope, aporta ayuda técnica y financia el objetivo de hacer llegar electricidad barata en cantidad y calidad tanto a las ciudades como a las remotas áreas rurales de Etiopía, así como el mantenimiento de las estaciones de distribución y tendidos eléctricos. Además, mediante el *Environmental Management Plan*, calcula el monto de las compensaciones que deben darse a los habitantes por la pérdida de cultivos <sup>(327)</sup>.

#### Energías solar, eólica y biocombustibles

Según la región y la estación del año, Etiopía recibe luz solar que puede producir de cinco a siete Kilovatios hora por metro cuadrado (KWh/m<sup>2</sup>), un potencial enorme que, una vez creada la infraestructura necesaria, podría proporcionar energía eléctrica suficiente para uso interno y la exportación. Así, a principios de 2016 se ha iniciado la construcción de tres plantas solares con capacidad para producir 300 MW de energía eléctrica en Semera y Awash Arna, en la región de Afar, en el norte del país.

Igualmente, en muchas áreas corren vientos de siete a nueve metros por segundo, apropiados para producir energía eléctrica, calculándose que esa fuente natural y no contaminante representa una energía potencial de 10.000 MW/año. Así, construida con tecnología francesa, desde 2011 funciona la planta Adama I a 100 Km al sureste de Addis Abeba, que produce 50 MW/año de energía eléctrica; en 2013, con tecnología china, fue inaugurada la planta de Ashegoda, en la región de Tigray, a 600 Km al norte de Addis Abeba, que produce 120 MW al año; y desde 2015, con tecnología francesa, la Adama II, con 170 MW/año.

Asimismo, el biodiésel obtenido de la jatrofa (arbusto de hasta seis metros de alto), del bambú y de la palma, plantas que abundan en Etiopía, una vez desarrollado su cultivo y con la infraestructura apropiada, podría aportar hasta cuatro mil millones de litros de bioetanol al año, equivalentes a siete veces el consumo anual de gasolina de todo el país <sup>(328)</sup>.

### Gas y petróleo

Los campos petrolíferos de Kalub e Hilala en el Ogadén, un desierto de 350.000 Km<sup>2</sup> al este del país, fueron explotados desde los años 70 con poco éxito. Sin embargo, con tecnología moderna parece que poseen cantidades considerables de gas natural y petróleo y la *Poly GCL Petroleum Investment Limited*, compañía china que compró los derechos en 2013, actualmente trabaja en el lugar y calcula que la explotación será rentable a partir de 2018 <sup>(329)</sup>. Si se confirmaran las previsiones es probable que Etiopía se convierta a medio plazo en autosuficiente en esas fuentes de energía, y más aún si fructificaran las prospecciones que desde hace unos diez años vienen haciéndose en Gambella, en el oeste.

### Energía geotérmica

Con grandes áreas de su territorio asentadas sobre terrenos volcánicos y algunos de sus volcanes durmientes o incluso en activo, Etiopía dispondría de una fuente ilimitada de energía geotérmica. Una energía explotable con inversiones asumibles. Así, desde 2007 la planta de Aluto Langano, entre los lagos Langano y Ziway a unos 200 Km al sur de Addis Abeba, produce 8 MW/año de esta energía limpia. Y actualmente, con la ayuda del Banco Mundial y la *International Development Association* (IDA), están en construcción otras cuatro plantas geotérmicas en Alolabad, en la depresión de Afar, en el noreste que, junto con la que se ha empezado a construir en la caldera del volcán Corbetti (en la orilla norte del lago Awassa, en el sur del Valle del Rift) por la compañía islandesa *Reykjavík Geothermal Limited*, está previsto produzca 17.000 MW/ año a partir de 2020 <sup>(330)</sup>.

#### 8.4.4 Deforestación

Además de las sequías periódicas y los conflictos con los países vecinos, Etiopía se enfrenta a otro grave problema como es el de la deforestación. Mediante documentos históricos, consultas a lugareños e imágenes tomadas por satélite, se calcula que sólo entre 1972 y 2000 se redujo la superficie boscosa en la región central del Valle del Rift del 16% en 1972 al 2,8% en 2000, habiéndose perdido unas 40.000 hectáreas de bosque a razón de unas 1.440 hectáreas cada año <sup>(331-336)</sup>. Esta deforestación, (Fig. 80), debida sobre todo a la acción del hombre, es continua y progresiva desde hace un siglo y obedece al crecimiento demográfico, al desarrollo agrícola y al hecho de que los árboles sigan siendo la principal fuente de energía en muchas áreas. Al tener una industria muy limitada, no hay oferta de trabajos bien remunerados en las ciudades y la mayoría de los varones necesitan dedicarse a la agricultura. De hecho, como reflejo de la pobreza en las ciudades, el número de pequeños agricultores ha aumentado en los últimos años, con la consiguiente sobreexplotación de los bosques y su sustitución por pastizales y cultivos agrícolas.

Asimismo, otro factor preocupante involucrado en la deforestación, sobre todo por su repercusión negativa en la salud física y mental de la población, es el incremento de la superficie dedicada al cultivo de *khat* (*Catha edulis*). Según cifras oficiales, en el año 2000 había 94.330 hectáreas dedicadas a ese cultivo y desde entonces no han dejado de crecer <sup>(331)</sup>. Además de precisar poca agua, el *khat* es un arbusto-árbol de crecimiento rápido que llega a alcanzar los ocho metros de altura y sus hojas aromáticas al masearse tienen un efecto euforizante previo a la somnolencia. Ello recuerda al consumo de hojas de coca en el altiplano suramericano y se debe a su contenido en catinona ( $\beta$ -cetoanfetamina) alcaloide estimulante con acción adrenérgica. Un proverbio etíope dice: “El café es el *khat* del hombre pobre” y en las regiones de Hararge, Somali y Afar es frecuente que muchos varones (y no pocas mujeres) masquen hojas de *khat* después del almuerzo del mediodía, de forma que las labores vespertinas prácticamente quedan sin hacer. Otra de las razones de la expansión de su cultivo es que, si se alterna con el de maíz, el rendimiento económico de una hectárea se multiplica por 2,7 comparado con el monocultivo de maíz; y, además, el *khat* resiste mejor la sequía que los cereales o el café. Aunque se sabe que crea dependencia y su uso está prohibido en Occidente, el Gobierno etíope mantiene una actitud ambigua al respecto, quizá porque la costumbre de mascar esas

hojas en el cuerno de África viene del siglo XV y, sobre todo, porque la exportación de las hojas de *khat* ha llegado a representar una significativa fuente de trabajo y de ingresos para su deprimida economía<sup>(337 - 341)</sup>.

Y hoy día ya no hay dudas de que la deforestación y la degradación del entorno conducen a más pobreza.

Para que Etiopía salga de la situación actual, una realidad prolongada durante décadas, deje de depender de la ayuda internacional y se convierta en un estado floreciente, deberá superar además de todos esos problemas el no menos grave de la corrupción en la Administración tanto pública como privada. En este punto quizá proceda recordar lo que la burundesa Chantal Uwimana, Directora Regional de Transparencia Internacional para el África Sub-sahariana, escribió en su informe de 2014 y aplicable no sólo a Etiopía<sup>(342)</sup>:

“Los resultados del Índice de Percepción de la Corrupción (IPC) en 2014 son similares a los de años previos: la mayoría de los países de África muestran índices de corrupción endémica. En un continente que, comparado con otras regiones, posee un alto crecimiento económico, la corrupción a todos los niveles es uno de los factores que impiden la traducción de ese crecimiento en desarrollo para las personas, impidiendo mejorar la forma en cómo se ganan la vida y prosperan sus condiciones básicas. Debiera ser un motivo de preocupación general el hecho de que, mientras los africanos se enfrentan a la corrupción a la hora de acceder a unos pobres servicios básicos, a la vez existen grandes flujos financieros que salen ilícitamente de África, privando a esos países de recursos para inversiones y desarrollo. Desde hace años, la fuga financiera desde África supera las entradas en forma de ayudas al desarrollo. La ONU, a través de su Comisión Económica para África, calcula que las salidas ilegales de capital a través del comercio de materias primas a infraprecios significan unos seiscientos mil millones de dólares USA cada año y que esas salidas han aumentado un 32,5% desde 2000 a 2009. Esta fuga sigue siendo mayor que en otros puntos del mundo en vías de desarrollo y perjudica gravemente el crecimiento y desarrollo de África. Eso debe acabar y lograrlo es una responsabilidad global. Cada vez hay más preocupación sobre la importancia de la transparencia y su repercusión en el desarrollo sostenible. Hasta que las negociaciones en la ONU para los Objetivos de Desarrollo Sostenible lleguen a sus conclusiones, los líderes africanos y

los ciudadanos deben movilizarse para lograr un acuerdo global que lleve a conseguir instituciones eficaces y transparentes”.

---

En suma, pensamos que, pasado más de un siglo, es válido con un pequeño matiz aplicado a la podocóniosis lo que don Santiago Ramón y Cajal escribió en 1910, y recogíamos al principio de estas páginas, en el prólogo del *Informe de la Comisión del Instituto Nacional de Higiene de Alfonso XIII, enviada a las posesiones españolas del Golfo de Guinea para el estudio de la Enfermedad del Sueño y de las condiciones sanitarias de la Colonia*:

“Dado el nivel científico alcanzado por la medicina actual, esclarecidas, por fortuna, las causas y en buena parte la profilaxis y terapéutica de las endemias tropicales, dicha incuria sanitaria constituye crimen de lesa civilización, y representa además en el orden político internacional error peligrosísimo... Y entre todas las artes del espíritu, ninguna cala más adentro en el corazón de las razas primitivas que aquella cuyo ideal consiste en mitigar el dolor, evitar el contagio y aplazar la decrepitud y la muerte”.

---

Salvando todas las distancias, durante seis meses hemos estudiado la podocóniosis en Gambo, un área de Etiopía donde es prevalente. Sin duda es poco tiempo, pero, tras las páginas previas, nuestra labor quizá haya sido suficiente para llegar a conocer algunos de los problemas culturales, sociales, sanitarios y médicos a los que se enfrenta la población y ante los que nos vemos los médicos a la hora de diagnosticar y tratar a estos pacientes. Una labor que nos permite llegar a las conclusiones indicadas a continuación.



**CONSIDERACIONES FINALES**

---



## CONSIDERACIONES FINALES

### Sobre suelos, aguas y biopsias:

1.- El tamaño de las partículas en todas las muestras de suelos estudiados fue inferior a un milímetro y en la gran mayoría de ellas más del 90% tenía un diámetro inferior a una décima de milímetro, propio de los terrenos arcillosos.

2.- El elemento mayoritario en los suelos de Gambo son las arcillas (57-83%; media 74,85%) y concretamente illita (silicato hidratado de aluminio, hierro, magnesio y potasio) y caolín (silicato de aluminio hidratado). El cuarzo (43,9% de los minerales no arcillosos) y el feldespato potásico representan en total aproximadamente un 25%. Los óxidos de aluminio y de hierro constituyen, respectivamente, el 12,5% y el 7,5% de los elementos no arcillosos.

3.- El hecho de que en otras áreas con alta prevalencia de podoconiosis las arcillas predominantes son esmectitas como la montmorillonita, permite deducir que su papel en la patogenia de esa enfermedad es el de servir de vehículo y reside en las características estructurales generales de las arcillas (mínimo tamaño de grano, gran área superficial específica y altas capacidad de absorción y adsorción de agua, minerales y elementos traza). Esas características facilitan su adherencia a la piel y dificultan su eliminación.

4.- Existe una gran heterogeneidad en las tasas de elementos traza en suelos de regiones con podoconiosis. Comparando nuestros resultados con los descritos en la literatura, los metales que, por sus características moleculares, deben influir en la patogenia de esa enfermedad son circonio y berilio. Estos cationes metálicos son adsorbidos en la superficie de las moléculas de las arcillas al enlazarse con el anión  $\text{SiO}_4^{4-}$  formando nanocristales especialmente abrasivos.

5.- Se encontraron concentraciones notables de vanadio, cobalto, cromo y torio en las muestras de suelos, pero con grandes variaciones entre las muestras analizadas y en proporciones muy diferentes a las descritas en otras áreas con alta prevalencia de podoconiosis, lo que sugiere que no deben influir en su patogenia.

6.- Las aguas de Gambo analizadas eran blandas y adecuadas para el riego. Asimismo, por su contenido en nitrito y nitrato, cumplían criterios de potabilidad. Sin embargo, por su pH ácido (<6,5) una de las seis muestras no cumplía esos criterios y otra se encontraba en el límite inferior de lo aceptable.

7.- Las concentraciones de los elementos traza aluminio, arsénico, plomo, torio y uranio (en una muestra) estaban por encima de la Concentración Máxima Contaminante.

8.- En las biopsias de piel, los elementos traza con mayor concentración fueron cinc y bario. No se detectó berilio en las biopsias.

9.- Los metales traza con mayor concentración a la vez en suelo, agua y piel, fueron cinc y bario, con gran variación entre muestras y a concentraciones muy diferentes a las descritas en otras áreas con alta prevalencia de podoconiosis. Tal disparidad descartaría un papel significativo de ambos metales en su patogenia.

10.- En las biopsias de piel se observó hiperplasia epidérmica, expansión fibrosa de la dermis, infiltrado linfoplasmocitario perivascular, proliferación y ectasia linfática, y fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas.

11.- Se demostraron hongos antropofílicos en el 89% de las lesiones cutáneas superficiales de los pacientes, con predominio de dermatofitos (*Trychofitum rubrum*, *T. verrucosum* y *T. Violaceum*) frente a no dermatofitos (*Geotrichum* y *Exophiala*). Su aislamiento indica colonización sobreañadida, más que influencia en la patogenia de la podoconiosis.

### **Sobre pacientes**

1.- La gran mayoría de los pacientes (93%) fueron diagnosticados tras búsqueda activa en los poblados, indicando que, bien por ignorancia o bien por distancia al Hospital de Gambo, no consultaban por ese motivo.

- 2.- La proporción entre mujeres (61) y hombres (45) fue 1,35/1, diferencia significativa atribuible a la marginación y al mayor tiempo que las mujeres caminaban o trabajaban descalzas (o mal calzadas).
- 3.- Es preocupante que el 35,9% de los pacientes tuviera menos de 25 años (y ocho fueran menores de 15), ya que indica que siguen produciéndose casos en edades tempranas y que no se tomaron medidas de prevención.
- 4.- El analfabetismo es un problema grave en la región, ya que el 53,7% de los pacientes lo era. Sólo el 74,8% de los menores de 25 años y el 27,5% de los mayores de esa edad sabía leer y escribir.
- 5.- El 82% de los pacientes realizaba labores agrícolas (27,3% a tiempo completo y 54,7% a tiempo parcial), lo que confirma la relación de la podocóniosis con ese tipo de trabajo.
- 6.- El acceso al agua sigue siendo un problema grave en el área de Gambo. [El 68% de los pacientes tenía que caminar al menos diez minutos hasta alcanzar la fuente de agua potable más cercana y de los 34 restantes, 25 (23,6%) caminaban durante 30 minutos para obtener agua, seis tardaban una hora, dos andaban 1,5 horas y uno tardaba alrededor de dos horas en llegar hasta el punto de agua potable más cercano a su hogar]. Todos los trayectos eran sobre terrenos arcillosos.
- 7.- El 92,4% de los pacientes no tenía ninguna idea (26%) o tenía una idea equivocada (74%) sobre la etiología de la podocóniosis.
- 8.- Existe predisposición genética a sufrir podocóniosis, ya que, aunque muchos pacientes lo ocultaban, el 27,35% (29 de 106) reconoció tener al menos un familiar afectado.
- 9.- El calzado es otro problema en la región. Cuando fueron diagnosticados, el 11,3% de los pacientes estaba descalzo y el 85,8% llevaba un calzado de mala calidad. Además, aproximadamente la mitad de los pacientes calzados reconocían ponerse zapatos sólo de manera ocasional.
- 10.- El uso de calzado fue tardío, ya que los menores de 25 años tuvieron su primer par de zapatos a una media de 14 años, y los mayores de esa edad hacia los 20.

11.- Casi todos los pacientes llevaban calzado de mala calidad o inadecuado, y las mujeres aún estaban peor calzadas que los varones.

12.- Si bien la podoconiosis es conocida dermatológicamente por las lesiones musgosas, éstas sólo se observaron en el 50,9% de los pacientes.

13.- Las heridas cutáneas son una complicación frecuente en los pacientes con podoconiosis (se observaron en el 20,7% de los casos) y guardaban correlación con los estadios de la enfermedad (presentes en el 12% de los pacientes en estadio 2; en el 47% en estadio 3 y en el 75% de los enfermos en estadio 5).

### **Sobre prevención, entorno y tratamiento**

Las medidas de prevención deben partir de la educación junto con la mejora en las infraestructuras: acceso a agua potable, saneamiento, carreteras, energía eléctrica y centros sanitarios. Por estar estrechamente relacionadas, estas medidas debieran ser simultáneas. En una población que vive sobre todo de la agricultura, es necesario mejorar sus condiciones locales de vida para evitar que se desplacen a ciudades poco industrializadas e incapaces de absorber grandes cantidades de mano de obra no cualificada.

1.- Las escuelas son fundamentales en la prevención y tratamiento de la podoconiosis. La educación es esencial para acabar con las ideas erróneas sobre su etiología. De ahí debe partir cualquier medida que pretenda erradicar tanto la podoconiosis como las demás “enfermedades olvidadas”.

2.- Un objetivo básico en la lucha contra tales enfermedades es acabar con el analfabetismo y para ello las escuelas deben acercarse a los poblados. Es preciso estudiar la distribución de la población para asentar las escuelas en puntos estratégicos para que la distancia a recorrer cada día por los niños sea razonable, por ejemplo a menos de un kilómetro.

3.- Las escuelas deben llevar inherente una dotación adecuada de maestros y maestras junto con unos medios materiales básicos. Ese personal debe estar incentivado para que permenezca activo sobre el terreno.

4.- Debe facilitarse el acceso al agua potable y para ello es necesario crear y mejorar las medidas de aprovechamiento del agua de lluvia. La construcción de pozos, aljibes, presas y pantanos debe ser uno de los pilares de ese capítulo.

5.- Es necesario concienciar a los nativos sobre las medidas básicas de higiene personal y de saneamiento de aguas negras.

6.- La población debe saber: a) que la podoconiosis es una enfermedad prevenible con calzado adecuado y medidas de higiene; b) que no es contagiosa, por lo que no hay motivos para el estigma que sufren los varones, y sobre todo las mujeres, que la padecen; (la fotografía de la página 202 vale más que mil artículos sobre la marginación y el estigma); y c) que su tratamiento es sencillo y no doloroso.

7.- El calzado de cuero o las botas altas de goma que protejan la planta, el dorso del pie y el tobillo tanto durante las labores agrícolas como en los desplazamientos por los caminos de tierra, es, con la higiene, el otro pivote sobre el que descansa la prevención.

8.- Debería desterrarse en los nativos la idea de que los hombres blancos son ricos, que regalan medios materiales y que las soluciones a sus problemas vendrán del exterior. Es preciso inculcarles a través de la educación la idea de que deben implicarse activamente en el aprovechamiento de la ayuda que reciben.

9.- Corresponde al Gobierno de Etiopía idear sistemas que eviten la emigración de los médicos licenciados en la Universidad de Addis Abeba.

10.- Igualmente, además de luchar contra la deforestación, el Gobierno debe llevar a cabo la labor titánica de dotar a su territorio de infraestructuras de agua y comunicaciones suficientes, así como de tendidos eléctricos y centros sanitarios básicos. El objetivo no debe ser que los agricultores abandonen sus tierras ni trasplantar allí el hiperconsumista y tantas veces insensato modo de vida occidental, sino que con su colaboración e implicación activa consigan alcanzar unas condiciones razonables de vida. Con sus recursos naturales y enormes reservas energéticas, Etiopía debiera lograrlo.

11. Junto a esos objetivos y medidas, también corresponde al Gobierno acabar, o al menos intentarlo, con la corrupción que mina la Administración y muchas de las actividades privadas. Ese es otro de los parásitos que lenta y silenciosamente puede acabar con la estructura de un país.

---

Quizá, si algún día se alcanzaran esos objetivos, las “enfermedades olvidadas” habrán sido erradicadas de la faz de la Tierra. El hombre ya ha sufrido y aún seguirá sufriendo demasiado por ellas.

---

Finalmente, debemos tener presente la labor que realizan desde hace décadas la Misión de la Consolata y el Hospital General Rural de Gambo. Una labor extraordinaria en lo inmaterial, en la educación de la infancia, la preparación laboral de las mujeres, la construcción de infraestructuras a pequeña escala y el tratamiento de muchos enfermos que, no sólo con podocóniosis, se acercan allí buscando ayuda. Es obvio que su competencia sólo es comparable a su generosidad y la grandeza de su espíritu. Para Ellos mi reconocimiento, recuerdo y gratitud.



**CONCLUSIONES**

---



## CONCLUSIONES

- 1.- Durante los cuatro meses de búsqueda activa, se diagnosticaron cuatro veces más casos que los encontrados a través de las consultas externas del hospital en un año. El seguimiento de los pacientes se vio dificultado por múltiples motivos, entre otros, la distancia al hospital desde sus lugares de residencia, y la falta de conciencia de enfermedad.
- 2.- La mayor parte de los pacientes diagnosticados practicaban, a tiempo total o parcial, la agricultura, habitualmente con los pies descalzos; dato que constituye el principal factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad. La baja percepción del riesgo y el desconocimiento sobre la causa de la enfermedad son otros de los factores predictores para el desarrollo de podoconiosis. Cuatro de cada cinco pacientes se encontraban en estadio 2 y casi uno de cada cinco en estadio 3.
- 3.- El elemento mayoritario en los suelos de Gambo son las arcillas, concretamente la illita y el caolín. Entre los elementos traza, se encontraron circonio y berilio, cationes metálicos que son adsorbidos en la superficie de las moléculas de las arcillas; al enlazarse con el anión  $\text{SiO}_4^-$  forman nanocristales especialmente abrasivos.
- 4.- Los metales traza con mayor concentración a la vez en suelo, agua y piel, fueron cinc y bario, con gran variación entre muestras y a concentraciones muy diferentes a las descritas en otras áreas con alta prevalencia de podoconiosis. Tal disparidad descartaría un papel significativo de ambos metales en su patogenia.
- 5.- Las aguas de Gambo analizadas eran blandas y adecuadas para el riego. Asimismo, por su contenido en nitrato y nitrato, cumplían criterios de potabilidad. Sin embargo, por su pH ácido ( $<6,5$ ) una de las seis muestras no cumplía esos criterios y otra se encontraba en el límite inferior de lo aceptable.
- 6.- En las biopsias de piel se observó hiperplasia epidérmica, expansión fibrosa de la dermis, infiltrado linfoplasmocitario perivascular, proliferación y ectasia linfática, y fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas. Los elementos traza con mayor concentración fueron cinc y bario. No se detectó berilio en las biopsias.
- 7.- Se demostró la presencia de hongos antropofílicos en el 89% de las lesiones cutáneas superficiales de los pacientes en los que se realizó el estudio, interpretándose como colonización en un medio húmedo que lo favorece.



**BIBLIOGRAFÍA**

---



## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Price EW. The elephantiasis story. Trop Dis Bull. 1984; 81: R1-R12.
- 2) Szuba A y Rockson SG. Lymphedema: classification, diagnosis and therapy. Vasc Med. 1998; 3: 145-56.
- 3) Streeten DH. Idiopathic edema. Pathogenesis, clinical features, and treatment. Metabolism. 1978; 27: 353-83.
- 4) Merli GJ y Spandorfer J. The outpatient with unilateral leg swelling. Med Clin North Am. 1995; 79: 435-47.
- 5) Mortimer PS. Swollen lower limb-2: lymphoedema. BMJ. 2000; 320 (7248): 1527-9.
- 6) Rockson SG. Lymphedema. Am J Med. 2001; 110: 288-95.
- 7) Padberg F Jr., Cerveira JJ, Lal BK, Pappas PJ, Varma S y Hobson RW. Does severe venous insufficiency have a different etiology in the morbidly obese? Is it venous? J Vasc Surg. 2003; 37: 79-85.
- 8) Rinpoche R y Kunzang J. Tibetan Medicine. Wellcome Institute of Historical Medicine. London, 1973.
- 9) Rhazes. Al Mansouri fi al-Tibb. Folio 191; section 9; pp 157. 875-925 d.C. British Library, London.
- 10) Bruce J. Travels to discover the source of the Nile in the years 1768, 1769, 1770, 1771, 1772 and 1773 in five volumes. Printed by J. Ruthven, for G. G. J. and J. Robinson, Paternoster-Row, London. Edinburgh 1790.
- 11) Hendy J. Treatise on the glandular disease of the Barbadoes: proving it to be seated in the lymphatic system. Ed. C. Dilly. London, 1784.
- 12) Alard M. Histoire de l'éléphantiasis des arabes. Malade particulière au système lymphatique fréquente dans nos climats, quoique méconnue jusqu'à ce jour. Gabon Librairie. París, 1806.
- 13) Larrey DJ. Mémoires de chirurgie militaire et des campagnes. In: Schmidt J, editor. París, 1812.
- 14) Duchassaing P. Études sur l'éléphantiasis des arabes et sur la spiloplaxie. Archiv Gen Med. Paris. 1854; IV; 412-429; 707-716; V: 52-76.
- 15) Rochard J. Contribution à la géographie médicale de les îles Canaries. Archives de Médecine Navale 1867; p. 253.

- 16) Wucherer O. Nota preliminar sobre vermes de uma espécie ainda não descrita, encontrados na urina de doentes de hematuria intertropical no Brazil. *Gazeta Médica*. 1868;3: 3.
- 17) Sabouraud R. Sur la parasitologie de l'éléphantiasis nostras. *Ann Dermatol Syphilogr*. 1892; 3: 592-600.
- 18) Fox T. *Filaria sanguinis hominis* in relation to elephantiasis, chiluria and allied diseases. *Medical Times Gazette*. 1878; 2: 427-9.
- 19) Legrain E. On some observed parasitic affections in Algeria. *Arch Parasitol*. 1898; 1: 151-2.
- 20) Robles R. Pseudolepra. Congreso Médico Panamericano; Guatemala, 1938.
- 21) Brumpt E. Filarioses et éléphantiasis. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*. 1947; 27: 103-20.
- 22) Díaz-Menéndez M, Norman F, Monge-Maillo B, Pérez-Molina JA y López-Vélez R. Las filarias en la práctica clínica. *Enferm Infecc Microbiol Clin*. 2011; 29 (Supl 5): 27-37.
- 23) Lymphatic filariasis. World Health Organization. Preventive Chemotherapy and Transmission Control (PCT). Department of Control of Neglected Tropical Diseases (NTD). 2011. Geneva; pp. 1-78.
- 24) Lowenthal LJA. On the probable inclusion of several diseases in the title "mossy foot". *Ann Trop Med Parasitol*. 1934; 28: 47-62.
- 25) Macfie JWS. Mossy foot in northern Ethiopia. *Ann Trop Med Parasitol*. 1936; 30: 99-103.
- 26) Clark M. Lymphostatic verrucosis in the Fort Hall district of Kenia. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1948; 42: 287-90.
- 27) Jordan P, Trant MH y Laurie W. Non-bancroftian elephantiasis in Tanganyika. *Br Med J*. 1956; 1(4960): 209-10.
- 28) Cohen LB. Idiopathic lymphoedema of Ethiopia and Kenya. *East Afr Med J*. 1960; 37: 53-74.
- 29) Carayon A, Languillon J, Rousselot M y Robin P. Aspects et interferences de la polyopathologie du lepreux. *Bulletin de la Société Médicale d'Afrique Noire de Langue Française*. 1969;14: 140-54.
- 30) Oomen AP. Studies on elephantiasis of the legs in Ethiopia. *Trop Geograph Med*. 1969;21: 236-53.



- 31) Destas K, Ashine M y Davey G. Prevalence of podoconiosis (endemic non-filarial elephantiasis) in Wolaita, Southern Ethiopia. *Trop Doct.* 2003; 33: 217-20.
- 32) Crivelli PE. Non-filarial elephantiasis in Nyambene range: a geochemical disease. *East Afr Med J.* 1986; 63: 191-4.
- 33) Price EW. The pathology of non-filarial elephantiasis of the lower legs. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1972; 66: 150-9.
- 34) Heather CJ, Price EW. Non-filarial elephantiasis in Ethiopia. Analytical study of inorganic material in lymph nodes. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1972; 66:450-8.
- 35) Price EW. The association of endemic elephantiasis of the lower legs in East Africa with soil derived from volcanic rocks. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1976; 70: 288-95.
- 36) Price EW. Endemic elephantiasis of the lower legs in Rwanda and Burundi. *Trop Geograph Med.* 1976; 28: 283-90.
- 37) Price EW y Henderson WJ. Endemic elephantiasis of the lower legs in the United Cameroon Republic. *Trop Geograph Med.* 1981; 33: 23-9.
- 38) Corachan M, Tura JM, Campo E, Soley M y Traveria A. Podoconiosis in Aequatorial Guinea. Report of two cases from different geological environments. *Trop Geograph Med.* 1988; 40: 359-64.
- 39) Wanji S, Tendongfor N, Esum M, Che JN, Mand S, Tanga Mbi C, *et al.* Elephantiasis of non-filarial origin (podoconiosis) in the highlands of north-western Cameroon. *Ann Trop Med Parasitol.* 2008;102: 529-40.
- 40) Marcus HG. A history of Ethiopia. 335 páginas. University of California Press. updated edition, Berkeley & Los Angeles. California, 2002.
- 41) Ethiopia History. The new Encyclopaedia Britannica.15th edition. Chicago, 2003. Micropaedia. vol 4; pp. 579-81.
- 42) BBC news. Ethiopia profile. January, 2016.
- 43) Corruption Perceptions Index @ 2015 by *Transparency International*. Licensed under CC-BY-ND 4.0. Ed. Gareth Sweeney. Disponible en: <http://www.transparency.org/>
- 44) Andersson S y Heywood PM. The politics of perception: use and abuse of Transparency International's approach to measuring corruption. *Political Studies.* 2009; 957: 746-67.
- 45) Africa. Physical and Human Geography. Encyclopaedia Britannica. Macropaedia. 15th edition. Chicago, 2003. p. 38-120.

- 46) Huntingford GW PR. The historical geography of Ethiopia. 384 páginas. Oxford University Press Ed. Oxford; 1989.
- 47) Ethiope Atlas of Key Demographic and Health indicators, 2005. Maryland. USA. 2008; pp. 1-27.
- 48) World Bank. 2012. Ethiopia-Country partnership strategy (FY2013-FY2016). Washington DC; pp.1-153. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/08/16702735/ethiopia-country-partnership-strategy>.
- 49) United Nations Development Programme. Accelerating Inclusive Growth for Sustainable Human Development in Ethiopia. National Human Development Report 2014 – Ethiopia; pp. 140.
- 50) Woldu Z. Forests in the vegetation types of Ethiopia and their status in the geographical context. En: Edwards S, Demissie A, Bekele T y Haase G eds. Forest genetic conservation: principles, strategies and 39 actions. Proc Natl Forest Gen Res Conserv Strategy. Development Workshop. June, 1999. Addis Ababa, Ethiopia. pp. 1-48.
- 51) Moges Y, Zewdu Eshetu Z y Nune S. Ethiopian forest resources: current status and future management options in view of access to carbon finances. Ethiopian climate research and networking and the United Nations Development Programme (UNDP). Addis Ababa, October 2010. pp. 1-54.
- 52) Bultosa G. Physicochemical characteristics of grain and flour in 13 tef [eragrostistef (zucc.) trotter] grain varieties. J Appl Sci Res. 2007; 3: 2042-51.
- 53) Abebe Y, Bogale A, Hambidge KM, Stoecker BJ, Bailey K y Gibson RS. Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural sidama, southern Ethiopia, and implications for bioavailability. J Food Comp Analysis. 2007; 20: 161-8.
- 54) Baye K. Teff: nutrient composition and health benefits. Ethiopia support program. Ethiopian development research institute. International food policy research institute. 2014. working paper 67; pp 1-17.
- 55) Soil Survey Staff. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de EEUU. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 11ª ed. Mexico, 2010. 365 páginas. Capítulo 2: Suelos minerales y orgánicos (pp. 3-6); cap. 3: Horizontes y diagnóstico de categorías superiores (pp. 7-36); cap. 4: Identificación de la clase taxonómica de un suelo (pp. 37-42).
- 56) Lark RM y Bishop TFA. Cokriging particle size fractions of the soil. Eur J Soil Sci. 2007; 58: 763–74.

- 57) Kettler TA, Doran JW y Gilbert TL. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analysis. *Soil Sci Soc Am J.* 2001; 65: 849–52.
- 58) Custodio E. Hidroquímica. En: Custodio E y Llamas M. *Hidrología subterránea*, 2ª edición. Barcelona. Ediciones Omega, 2001; pp. 1007-1095.
- 59) Schröer W y Weingärtner H. Structure and criticality of ionic fluids. *Pure Appl. Chem.* 2004; 76: 19–27.
- 60) Brezonik PL. Nitrates: an Environmental Assessment. Capítulos 1, 8 y 9. En: Report prepared by the Panel on Nitrates of the Coordinating Committee for Scientific and Technical Assessments of Environmental Pollutants. National Academy of Sciences. Washington DC. USA. 1978.
- 61) Maas EV y Hoffman GJ. Crop salt tolerance –current assesment. *J Irrig Drainage Div. Amer Soc Civ Eng.* 1977; 103: 115-134.
- 62) Sposito G. Soil acidity. Ch.11. En: *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, 2008; pp. 275-95.
- 63) Gaboardi M HM. Elemental fractioning during LA-ICP-MS analysis of silicate glasses: implications for matrix-independent standardization. *J Anal At Spectrom.* 2009; 24: 1188-98.
- 64) González-Rouco JF, von Storch H y Zorita E. Deep soil temperature as proxy for surface air-temperature in a coupled model simulation in the last thousand years. *Geophys Res Let.* 2003; 30: 2116-9
- 65) Dostal J y Murphy JB. The Geosphere. Ch. 2. En: *Earth System: Structure, Dynamics and Materials*. Cilek V y Smith RH eds. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Enciclopedia of Life Support Systems*. 2015.
- 66) Streckeisen A ZB, Le Bas MJ, Bonin B, Bateman P, Bellieni G, Dudek A *et al.* Igneous rocks. Classification and nomenclature. En: *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B, Le Bass MJ, Bonin B y Bateman P. eds. 2th Ed. Cambridge University Press; 2002. pp. 3-42.
- 67) Anguita F. La tierra moderna. Capítulo 3. En: *Biografía de la Tierra. Historia de un Planeta Singular*. Aguilar E, editor. Madrid, 2011; pp. 153-206.
- 68) Van Kranendonk MJ. Geochemistry. Onset of plate tectonics. *Science.* 2011; 333: 413-4.
- 69) Hamblin WK y Christiansen EH. Igneous rocks. Ch. I.4. En: Hall P, editor. *Earth's Dinamic System*. 10th Ed. 2010. pp. 80-113

- 70) Lockwood JP HR. The nature of magma. Where volcanoes come from. Ch. II.3. En: Volcanoes, Global Perspectives. Willey-Blackwell editor. West Sussex, UK 2010. p. 65-88.
- 71) Klein C y Hurlburt CS Jr. Tectosilicatos. En: Manual de Mineralogía. Editorial Reverté. Barcelona.1996. pp. 581-616.
- 72) Varet J. New discovery of fumarolitic garnets (Fant Ale, Ethiopia). Contr Mineral Petrol. 1969; 22: 185-9.
- 73) Chrystalline Silica Primer. Branch of Industrial Minerals. U.S. Department of the Interior. U.S. Bureau of Mines. 1992. p. 1-25.
- 74) Volterrani M y Magni S. Hydrological characteristics of some volcanic materials as affected by particle size distribution and internal porosity. Acta Agric Scand. Section B. Soil & Plant Sci. 2012; 62; suppl.1; 50-4.
- 75) González de Vallejo LI, Hijazo T, Ferrer M y Seisdedos J. Geomechanical characterization of volcanic materials in Tenerife. En: Volcanic Rocks. Malheiro & Nunes (Eds). Taylor & Francis Group, London; 2007; pp. 21-8.
- 76) Murphy JB y Dostal J. Metamorphic Rocks Ch. 2. En: Earth System: Structure, Dynamics and Materials. Cilek V y Smith RH eds. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Enciclopedia of Life Support Systems. 2015.
- 77) Mitchell JK y Soga K. Soil mineralogy. 3.14 Synthesis pattern and classification of the clay minerals. En: Fundamentals of Soil Behavior. 3th ed. Wiley & Sons, New York, 2005. Ch. 3; pp. 35-81.
- 78) Corti G SF, Philippon M, Sokoutis D, Willinghofer E y Molin P. Quaternary volcano-tectonic activity in the Soddo region, western margin of the Southern Main Ethiopian Rift. Tectonics. 2013; 32: 861-79.
- 79) Abrahams PW. Soils: their implications to human health. Sci Total Environ. 2002; 291: 1-32
- 80) Merget R, Bauer T, Kupper HU, Philippou S, Bauer HD, Breitstadt R, *et al.* Health hazards due to the inhalation of amorphous silica. Arch Toxicol. 2002; 75(11-12): 625-34.
- 81) Hamilton RF, Jr., Thakur SA y Holian A. Silica binding and toxicity in alveolar macrophages. Free Radical Biol Med. 2008; 44: 1246-58.
- 82) Cassel SL, Eisenbarth SC, Iyer SS, Sadler JJ, Colegio OR, Tephly LA, *et al.* The Nalp3 inflammasome is essential for the development of silicosis. Proc Natl Acad Sci. USA. 2008; 105: 9035-40.
- 83) Leung CC, Yu IT y Chen W. Silicosis. Lancet. 2012; 379: 2008-18.

- 84) Boztepe G, Rakhshanfar M, Erkin G, Ozkaya O y Sahin S. Cutaneous silica granuloma: a lesion that might be clinically underdiagnosed. *Eur J Dermatol.* 2005;15: 194-5.
- 85) Krebs RE. Barium. The history and use of our earth's chemical elements: a reference guide. Ch. 4. Alkali Earth Metals: Periods 2 to 7, Group 2 (IIA). 2th. Ed. Greenwood Press, CT. 2006; pp. 78-81.
- 86) Duling MG, Stefaniak AB, Lawrence RB, Chipera SJ y Virji MA. Release of beryllium from mineral ores in artificial lung and skin surface fluids. *Environ Geochem Health.* 2012;34: 313-22.
- 87) Chain JL, Martin AK, Mack DG, Maier LA, Palmer BE y Fontenot AP. Impaired function of CTLA-4 in the lungs of patients with chronic beryllium disease contributes to persistent inflammation. *J Immunol.* 2013; 191: 1648-56.
- 88) Lansdown AB. Metal ions affecting the skin and eyes. *Metal Ions in Life Sciences.* 2011;8: 187-246.
- 89) Wang Y y Dai S. Structural basis of metal hypersensitivity. *Immunol Res.* 2013; 55(1-3): 83-90.
- 90) Tinkle SS, Antonini JM, Rich BA, Roberts JR, Salmen R, DePree K, et al. Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. *Environ Health Perspec.* 2003; 111: 1202-8.
- 91) Krebs RE. Zinc. En: The history and use of our earth's chemical elements -a reference guide. Ch. 4. Transition elements: first series-period 4; groups 3-12. 2th. Ed. Greenwood Press, CT. 2006; pp. 114-118.
- 92) Heng BC, Zhao X, Xiong S, Ng KW, Boey FYC y Loo J SC. Toxicity of zinc oxide (ZnO) nanoparticles on human bronchial epithelial cells (BEAS-2B) is accentuated by oxidative stress. *Food Chem Toxicol.* 2010; 48: 1762-6.
- 93) Plum LM, Rink L y Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int J Environ Res Public Health.* 2010; 7: 1342-65.
- 94) Krebs RE. Zirconium. The history and use of our earth's chemical elements -a reference guide. Ch. 4. Transition elements: first series-period 4; groups 3-12. 2th. Ed. Greenwood Press, CT. 2006; pp. 122-4
- 95) Shelley WB y Hurley HJ. The allergic origin of zirconium deodorant granulomas. *Br J Dermatol.* 1958;70:75-101.
- 96) Elmore AR. Final report on the safety assessment of aluminum silicate, calcium silicate, magnesium aluminum silicate, magnesium silicate, magnesium trisilicate, sodium magnesium silicate, zirconium silicate, attapulgite, bentonite, Fuller's earth, hectorite, kaolin, lithium magnesium silicate, lithium magnesium sodium silicate,

montmorillonite, pyrophyllite, and zeolite. *Internat J Toxicol*. 2003; 22 Suppl 1: 37-102.

97). Jones AP y Peckette A. Zirconium-bearing aegirines from Motzfeldt, South Greenland. *Contrib Mineral Petrol*. 1980;75: 251-5.

98) Duggan MB. Zirconium-rich sodic pyroxenes in felsic volcanics from the Warrumbungle volcano, Central New South Wales, Australia. *Mineralogical Magazine*. 1988; 52: 491-6.

99) Davey G, Tekola F y Newport MJ. Podoconiosis: non-infectious geochemical elephantiasis. *Trans Royal Soc Trop Med Hyg*. 2007; 101: 1175-80.

100) Krebs RE. Thorium. Actinide series (period 7) and transuranic elements. En: *The history and use of our earth's chemical elements -a reference guide*. 2<sup>th</sup> Ed. Greenwood Press, CT. 2006; pp. 122-124

101) Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service & U.S. Environmental Protection Agency. Toxicological profile of thorium. 1990; 1-186.

102) Krebs RE. Uranium. Actinide Series (Period 7) and Transuranic Elements. En: *The history and use of our earth's chemical elements -a reference guide*. *Ibíd.* pp. 312-6

103) Dostal J, Dupuy C, Chikhauoi M y Zentili M. Uranium and thorium in late proterozoic volcanic rocks from northwestern Africa. *Chemical Geol*. 1984; 42: 297-307

104) Gottlieb LS y Husen LA. Lung cancer among Navajo uranium miners. *Chest*. 1982; 81: 449-52.

105) de Rey B, Lanfranchi H y Cabrini, R. (1983). Percutaneous absorption of uranium compounds. *Environ Res*. 1983; 30:480-91

106) World Health Organization. Depleted uranium: sources, exposure and health effects. Department of Protection of the Human Environment, World Health Organization, Geneva. 2001; pp. 1-4

107) Krebs RE. Vanadium. En: *The history and use of our earth's chemical elements -a reference guide*. Ch. 4. Transition elements: first series-period 4; groups 3-12. 2th. Ed. Greenwood Press, CT. 2006; pp. 93-95.

108) Ress NB, Chou BJ, Renne RA, Dill JA, Miller RA, Roycroft JH, et al. Carcinogenicity of inhaled vanadium pentoxide in F344/N rats and B6C3F1 mice. *Toxicol Sci J Soc Toxicol*. 2003; 74: 287-96.

109) Zhong BZ, Gu ZW, Wallace WE, Whong WZ y Ong T. Genotoxicity of vanadium pentoxide in Chinese hamster V79 cells. *Mutat Res Gen Toxicol*. 1994; 321: 35-42.

- 110) Rodeheaver G, Pettry D, Turnbull V, Edgerton MT y Edlich RF. Identification of the wound infection-potentiating factors in soil. *Am J Surg*. 1974; 128: 8-14.
- 111) Donaldson K, Stone V, Tran CL, Kreyling W y Borm PJ. Nanotoxicology. *Occupat Environ Med*. 2004;61:727-8.
- 112) Hoet PH, Bruske-Hohlfeld I y Salata OV. Nanoparticles-known and unknown health risks. *J Nanobiotech*. 2004; 2: 12; pp. 1-15.
- 113) Buzea C, Pacheco II y Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*. 2007; 2: MR17-71.
- 114) Frommel D, Ayranci B, Pfeifer HR, Sánchez A, Frommel A y Mengistu G. Podoconiosis in the Ethiopian Rift Valley. Role of beryllium and zirconium. *Trop Geograph Med*. 1993; 45: 165-7.
- 115) Price EW. The site of lymphatic blockade in endemic (non-filarial) elephantiasis of the lower legs. *J Trop Med Hyg*. 1977; 80: 230-7.
- 116) Olszewski WL, Jamal S, Manokaran G, Lukomska B y Kubicka U. Skin changes in filarial and non-filarial lymphoedema of the lower extremities. *Trop Med Parasitol*. 1993; 44:40-4.
- 117) Tabibiazar R, Cheung L, Han J, Swanson J, Beilhack A, An A, et al. Inflammatory manifestations of experimental lymphatic insufficiency. *PLoS Medicine*. 2006;3:e254. pp. 1114-1139.
- 118) Schneider M, Ny A, Ruiz de Almodovar C y Carmeliet P. A new mouse model to study acquired lymphedema. *PLoS Medicine*. 2006;3:e264. pp. 0970-0971.
- 119) Addisu S, El-Metwally TH, Davey G, Worku Y y Titheradge MA. The role of transforming growth factor-beta1 and oxidative stress in podoconiosis pathogenesis. *Br J Dermatol*. 2010; 162: 998-1003.
- 120) Davey G. Podoconiosis, non-filarial elephantiasis, and lymphology. *Lymphology*. 2010; 43:168-77.
- 121) Davey G, Gebrehanna E, Adeyemo A, Rotimi C, Newport M y Desta K. Podoconiosis: a tropical model for gene-environment interactions? *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 2007; 101: 91-6.
- 122) Tekola F, Ayele Z, Adeyemo A, Finan C, Hailu E, Sinnott P, Burlinson ND, et al. HLA class II locus and susceptibility to podoconiosis. *New Engl J Med*. 2012; 366:1200-8.
- 123) Tekola F, Ayele Z, HaileMariam D, Fuller LC y Davey G. Development and testing of a *de novo* clinical staging system for podoconiosis (endemic nonfilarial elephantiasis). *Trop Med Int Health*. 2008; 13: 1277-83

- 124) Sikorski C, Ashine M, Zeleke Z y Davey G. Effectiveness of a simple lymphoedema treatment regimen in podoconiosis management in southern Ethiopia: one year follow-up. PLoS Negl Trop Dis. 2010; 4(11):e902. pp. 1-5.
- 125) Jackson ML. Mineral fractionation for soils. Ch.3. En: Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Parallel Press. University of Wisconsin. Madison Libraries, 2005; pp 100-168.
- 126) Jackson ML. Selective Dissolution and Chemical Allocation of Soil Minerals. Ch. 11. *Ibid*; pp 510-569.
- 127) Towett EK, Sepherd KD y Cadisch G. Quantification of total element concentrations in soils using total X-ray fluorescence spectroscopy (TXRF). Sci Total Environ. 2013; 463-464; 374-88
- 128) Jackson ML. X-Ray Diffraction Analysis of Soil Minerals. *Ibid*. Ch. 4; pp. 169-251.
- 129) Jackson ML. Selective Dissolution and Chemical Allocation of Soil Mineral. *Ibid*. Ch. 11; pp. 510-569.
- 130) Yamasaki SI. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Parte II; Ch. 16. En: Mass Spectrometry of Soils. Boutton TW y Yamasaki SI. eds. Marcel Dekker Ed. N.Y. 1996. Pp. 459-492.
- 131) Hunt DTE y Wilson AL. Analytical Techniques. Ch. 11. En: The Chemical Analysis of Water. General Principles and Techniques. 2th ed. Royal Society of Chemistry. Cambridge, 1995; pp. 367-582.
- 132) Goodchild MF. Twenty years of progress: GIScience in 2010. J Spatial Information Sci. 2010; 1: 3–20.
- 133) Asrat A, Barbey P y Gleizes G. 2001. The precambrian geology of Ethiopia: a review. Afr Geosci Rev. 2001; 8: 271-88.
- 134) Bheemalingeswara K, Gebresilassie S y Amare K. 2012. Shear zone-hosted base metal mineralization near Abraha Weatsbeha-Adi Desta and Hawzen, Tigray region, northern Ethiopia. Momona Ethiop J Sci. 2012; 4: 3-28
- 135) Kieffer B, Arndt N, Lapierre H, Bastien F, Bosch D, Pecher A *et al*. Flood and shield basalts from Ethiopia: magmas from the African Superswell. J Petrol. 2004; 45: 793-834.
- 136) Shawe DR y Bernold S. Beryllium content of volcanic rocks. Contributions to geochemistry. Geological Survey Bulletin 1214 C. United States Government Printing Office, Washington: 1966; C1-C11.



- 137) Yavuz F, Gülketin AH, Örgün Y, Çeñik N, Çelik Karakaya M y Sasmaz A. Mineral chemistry of barium- and titanium-bearing biotites in calc-alkaline volcanic rocks from the Mezitler area (Balıkesir-Dursunbey), western Turkey. *Geochem J.* 2002; 36: 563-580.
- 138) Hagos M, Koeberl C, Kabeto K y Koller F. Geochemical characteristics of the alkaline basalts and the phonolite–trachyte plugs of the Axum area, northern Ethiopia. *Austrian J Earth Sci.* 2010; 103: 153-70.
- 139) Heaman LM, Bowins R y Crockett J. The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies. *Geochim Cosmochim Acta.* 1990; 54: 1597-1607
- 140) Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice. Vol. 1. Recomendaciones. 12.94. Nitrato y nitrito. Tercera edición. 2006.
- 141) Hidrology Project. Technical Assistance. Major ions in water. World Bank & Government of The Netherlands funded. Training module. WQ - 28. New Delhi, 1999; pp. 1-32; main text pp 1-8.
- 142) Thomas DH, Rey M y Jackson PE. Determination of inorganic cations and ammonium in environmental waters by ion chromatography with a high-capacity cation-exchange column. *J Chromatography A.* 2002; 956: 181-6.
- 143) Salbu B. Analysis of trace elements and their physico-chemical forms in natural waters. *Mikrochim Acta (Wien).* 1991; II: 29-37.
- 144) Gaillardet J, Viers J y Dupré B. Trace elements in river waters. En: *Treatise on Geochemistry*. Vol. 5. Dreaver JI, Holland HD, Turekian KK (eds). Elsevier-Pergamon. 2003; pp.225-272.
- 145) Bryant C, Jurgens BC, Fram MS, Belitz K, Burow KR y Landon MK. Effects of Groundwater Development on Uranium: Central Valley, California, USA. Ground water. Journal compilation. Nacional Ground Water Association. 2009; pp. 1-16
- 146) Taylor HE, Antweiler RC, Roth DA, Alpers CN y Dileanis P. Selected trace elements in Sacramento river, California: Occurrence and distribution. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2012; 62: 557-69.
- 147) Davey G y Burrridge E. Community-based control of a neglected tropical disease: the Moosy Foot Prevention and Treatment Association. *PLoS Negl Trop Dis.* 2009; 3(5):e424; pp. 1-6.
- 148) Tora A, Davey G y Tadele G. Factors related to discontinued clinic attendance by patients with podoconiosis in southern Ethiopia: a qualitative study. *BMC Public Health.* 2012; 12: 902; pp. 1-7.

- 149) Wood B. Medication adherence: the real problem when treating chronic conditions. *US Pharm.* 2012; 37 (Compliance suppl.): 3–6.
- 150) Alemu G, Tekola Ayele F, Daniel T, Ahrens C, Davey G. Burden of podoconiosis in poor rural communities in Gulliso woreda, West Ethiopia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2011;5(6):e1184. pp. 1-6. Epub 2011/06/15.
- 151) Molla YB, Le Blond JS, Wardrop N, Baxter P, Atkinson PM, Newport MJ, et al. Individual correlates of podoconiosis in areas of varying endemicity: a case-control study. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013;7(12):e2554. pp: 1-11.
- 152) Oli G, Tekola Ayele F y Petros B. Parasitological, serological and clinical evidence for high prevalence of podoconiosis (non-filarial elephantiasis) in Midakegn district, central Ethiopia. *Trop Med Internat Health.* 2012;17: 722-6.
- 153) Mengistu G, Humber DP, Ersumo M y Mamo T. High prevalence of elephantiasis and cutaneous leishmaniasis in Ocholo, south-west Ethiopia. *Ethiop Med J.* 1987; 25: 203-7.
- 154) Kloos H, Bedri Kello A y Addus A. Podoconiosis (endemic non-filarial elephantiasis) in two resettlement schemes in western Ethiopia. *Trop Doct.* 1992; 22: 109-12.
- 155) Tekola F, Bull S, Farsides B, Newport MJ, Adeyemo A, Rotimi CN y Davey G. Impact of social stigma on the process of obtaining informed consent for genetic research on podoconiosis: a qualitative study. *BMC Med Ethics.* 2009; 10(13); pp. 1-10.
- 156) Franklin H, Tora A, Deribe K, Reda AA y Davey G. Development of a scale to measure stigma to podoconiosis in Southern Ethiopia. *BMC Pub Health.* 2013; 13: 298; pp. 1-9.
- 157) Ayode D, McBride CM, De Heer DH, Watanabe E, Gebreyesus T, Tadele G, Tora A y Davey G. The association of beliefs about heredity with preventive and interpersonal behaviors in communities affected by podoconiosis in rural Ethiopia. *Am J Trop Med Hyg.* 2012; 87: 623–30.
- 158) Deribe K, Broker SJ, Pullan RL, Sime H, Gebretsadik A, Assefa A *et al.* Epidemiology and individual, household and geographical risk factors of podoconiosis in Ethiopia: results from the first nationwide mapping. *Am J Trop Med Hyg.* 2015; 92: 148–58.
- 159) Yakob B, Deribe K, Davey G. High levels of misconceptions and stigma in a community highly endemic for podoconiosis in southern Ethiopia. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2008;102: 439-44.
- 160) Cree A, Kay A y Steward J. The economic and social cost of illiteracy: A snapshot of illiteracy in a global context. Cost of illiteracy in developing countries. World Literacy Foundation. August, 2015; pp. 8-12.

- 161) World Health Organization. Accelerating work to overcome the global impact of neglected tropical diseases. Executive summary of roadmap approved by the Strategic and Technical Advisory Group for Neglected Tropical Diseases in 2011. Sixty-sixth World Health Assembly. WHA66.12; 27 May 2013. pp. 1-14.
- 162) UNICEF. Poverty reduction begins with children. NY, 2000; pp. 2-18.
- 163) Molla Y, Tomczyk S, Amberbi T, Tamiru A y Davey G. Podoconiosis in East and West Gojam Zones, Northern Ethiopia. *PLoS Negl Trop Dis*. 2012; 6(7); pp. 1-8.
- 164) Birrie H, Balcha F y Jemaneh L. Elephantiasis in Pawe settlement area: podoconiosis or bancroftian filariasis? *Ethiop Med. J.* 1997; 35: 245-50.
- 165) Watanabe E, McBride CM, Tora A, Ayode DA, Farrell D y Davey G. Use of footwear and foot condition among rural Ethiopian school children. *J Epidemiol Glob Health*. 2014; 4: 323-32.
- 166) Price EW. The relationship between endemic elephantiasis of the lower legs and the local soils and climate. *Trop Geograph Med*. 1974; 26: 225-30.
- 167) Price EW, Bailey D. Environmental factors in the etiology of endemic elephantiasis of the lower legs in tropical Africa. *Trop Geograph Med*. 1984; 36: 1-5.
- 168) Price EW y Henderson WJ. Silica and silicates in femoral lymph nodes of barefooted people in Ethiopia with special reference to elephantiasis of the lower legs. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1979; 73: 640-7.
- 169) Price EW, McHardy WJ y Pooley FD. Endemic elephantiasis of the lower legs as a health hazard of barefooted agriculturalists in Cameroon, West Africa. *Ann occup Hyg*. 1981; 24(1); pp: 1-8. Epub 1981/01/01.
- 170) Blanke JH PE, Rendell HM, Terry J and Townsend PD. Correlations between elephantiasis and thermoluminescence of volcanic soil. *Radiation Effects*. 1983;73: 103-13.
- 171) Heather CJ, Price EW. Non-filarial elephantiasis in Ethiopia: An analytical study of inorganic material in lymph nodes. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1972; 66:450-8.
- 172) Blundell G, Hendersom WJ y Price EW. Soil particles in the tissues of the foot in endemic elephantiasis of the lower legs. *Ann Trop Med Parasitol*. 1989;83:381-5.
- 173) Fyfe NC y Price EW. The effects of silica on lymph nodes and vessels --a possible mechanism in the pathogenesis of non-filarial endemic elephantiasis. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1985; 79: 645-51.
- 174) Hochella MF. Surface chemistry, structure, and reactivity of hazardous mineral dust. In: Guthrie GD, Mossman BT, eds. *Health Effects of Mineral Dusts. Reviews in Mineralogy*. Vol. 28. Mineralogical Society of America. 1993; 28: 275–308.

- 175) Fuller LC. Podoconiosis: endemic nonfilarial elephantiasis. *Curr Opin Infect Dis.* 2005, 18: 119-122.
- 176) Deribe K, Tomczyk S y Tekola-Ayele F. Ten years of podoconiosis research in Ethiopia. *PLOS Negl Trop Dis.* October 2013; vol. 7; issue 10; e2301; 1-4.
- 177) Davey G y Newport, M. Podoconiosis: the most neglected tropical disease? *Lancet.* 2007; 369, 888–9.
- 178) Price EW y Henderson WJ. The elemental content of lymphatic tissues of barefooted people in Ethiopia, with reference to endemic elephantiasis of the lower legs. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1978; 72, 132–6.
- 179) Molla YB, Wardrop NA, Blond JSL, Baxter P, Newport MJ, Atkinson PM et al. Modelling environmental factors correlated with podoconiosis: a geospatial study of non-filarial elephantiasis. *Int J Health Geogr.* 2014; 13, 24; 1-12.
- 180) Wardrop NA y Le Blond JS. Assessing correlations between geological hazards and health outcomes: Addressing complexity in medical geology. *Environ Internat.* 2015; 84: 90-3.
- 181) Deribe K, Cano J, Newport MJ, Golding N, Pullan RL, Sime H *et al.* Mapping and modelling the geographical distribution and environmental limits of podoconiosis in Ethiopia. *PLOS Negl Trop Dis.* July 29, 2015; 9(7); 1-18.
- 182) Seboxa T, Snow RW. Epidemiological features of severe paediatric malaria in north western Ethiopia. *East Afr Med J.* 1997; 74: 780-3.
- 183) Kenea O, Balkew M y Teshome Gebre-Michael T. Environmental factors associated with larval habitats of anopheline mosquitoes (Diptera: Culicidae) in irrigation and major drainage areas in the middle course of the Rift Valley, Central Ethiopia. *J Vector Borne Dis.* 2011; 48: 85–92.
- 184) Taye B, Alemayehu B, Birhanu A, Desta K, Addisu S, Petros B, et al. Podoconiosis and soil-transmitted helminths (STHs): double burden of neglected tropical diseases in Wolaita zone, rural southern Ethiopia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013; 7(3): e2128; pp 1-8.
- 185) Bethoni J, Brooker S, Albonico M, Geiger SM, Loukas A, Diemert D y Hotez PJ. Soil-transmitted helminth infections: ascariasis, trichuriasis, and hookworm. *Lancet.* 2006; 367: 1521-32.
- 186) Strunz EC, Addiss DG, Meredith E, Stocks ME, Ogden S, Utzinger J y, Freeman MC. Water, sanitation, hygiene, and soil-transmitted helminth infection: a systematic review and meta-analysis. *PLOS Medicine.* 2014; 11(3). e1001620; pp. 1-38.
- 187) Van Den Berg M y Kumbi GE. Poverty and the rural nonfarm economy in Oromia, Ethiopia. *Agricultural Economics.* 2006; 35; suppl. 3; 469-75.

- 188) Document of the World Bank. Report No. 71884-ET. International Development Association and International Finance Corporation and Multilateral Investment Guarantee Agency. Partnership Strategy for the Federal Democratic Republic of Ethiopia. Ethiopia Country Management Unit Africa Region. August 29, 2012; pp. 1-153.
- 189) <https://oromianeconomist.wordpress.com/2015/04/07/opinion-why-ethiopias-growth-rhetoric-is-faulty-africa/>
- 190) Fox L y Sohnesen TP. Household enterprises and poverty reduction in subsaharian Africa. *Develop Policy Rev.* 2016; 34: 197-221.
- 191) World Health Organization (2001) Mental health problems: the undefined and hidden burden. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs218/en/index.html>.
- 192) Weiss MG y Ramakrishna J. Stigma interventions and research for international health. *Lancet* 2006; 367:536–8.
- 193) Weiss MG. Stigma and the social burden of neglected tropical diseases. *PLoS Negl Trop Dis* 2008, 2(5):e237; pp 1-7.
- 194) Van Brakel WH. Measuring health-related stigma. A literature review. *Psychol Health Med.* 2006; 11: 307-34.
- 195) Heijnders M y Van Der Meij S. The fight against stigma: an overview of stigma-reduction strategies and interventions. *Psychol Health Med.* 2006; 11: 353–63.
- 196) Tora A, Davey G y Tadele G. A qualitative study in stigma and coping strategies of patients with podoconiosis in Wolaita zone, southern Ethiopia. *Int Health.* 2011; 3(3): 176-81.
- 197) Deribe K, Tomczyk S, Mousley E, Tamiru A y Davey G. Stigma towards a neglected tropical disease: felt and enacted stigma scores among podoconiosis atients in northern Ethiopia. *BMC Public Health.* 2013; 13:1178; pp 1-8.
- 198) Feyissa GT, Abebe L, Girma E y Woldie M. Validation of an HIV-related stigma scale among health care providers in a resource-poor Ethiopian setting. *J Multidiscip Healthcare* 2012; 5: 97–113.
- 199) Tekola F, Mariam DH y Davey G. Economic costs of endemic non-filarial elephantiasis in Wolaita zone, Ethiopia. *Trop Med Internat Health.* 2006; 11: 1136-44.
- 200) Harvey R, Powell JJ y Thompson. A review of the geochemical factors linked to podoconiosis. *Geol Soc Lond Special Pub.* 1996; 113: 255-60.
- 201) Yilmer M, Hailu T, Mulu W y Abera B. Epidemiology of elephantiasis with special emphasis on podoconiosis in Ethiopia: A literature review. *J Vector Borne Dis.* 2015; 52: 111-5.

- 202) Morley CK. Introduction to the East African Rift System. Morley CK ed. Geoscience of rift systems. Evolution of East Africa. Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists. 1999; pp. 1-18.
- 203) Mitchell NJ, Xue KS, Lin S, Marroquin-Cardona A, Brown KA, Elmore SE et al. Calcium montmorillonite clay reduces AFB1 and FB1 biomarkers in rats exposed to single and co-exposures of aflatoxin and fumonisin. *J Appl Toxicol*. 2013.
- 204) Herrera P, Burghardt RC y Phillips TD. Adsorption of Salmonella enteritidis by cetylpyridinium-exchanged montmorillonite clays. *Veterinary Microbiol*. 2000; 74: 259-72.
- 205) Clark KJ, Sarr AB, Grant PG, Phillips TD y Woode GN. In vitro studies on the use of clay minerals and charcoal to adsorb bovine rotavirus and bovine coronavirus. *Veterinary Microbiol*. 1998; 63: 137-46.
- 206) Johansson E, Wardlaw T, Binkin N, Brocklehurst C, Dooley T, Mausezahl D. *et al*. Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done. The United Nations Children's Fund (UNICEF)/World Health Organization (WHO), 2009; pp. 1-58.
- 207) Guarino A, Bisceglia M, Castellucci G, Iacono G, Casali LG, Bruzzese E *et al*. Smectite in the treatment of acute diarrhea: a nationwide randomized controlled study of the Italian Society of Pediatric Gastroenterology and Hepatology in collaboration with primary care pediatricians. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2001; 32: 71-5.
- 208) Mujawar QM, Naganoor R, Ali MD, Malagi N y Thobbi AN. Efficacy of dioctahedral smectite in acute watery diarrhea in Indian children: a randomized clinical trial. *J Trop Pediatr*. 2012; 58: 63-7.
- 209) Chang F y Young C. Efficacy of dioctahedral smectite in treating patients of diarrhea predominant irritable bowel syndrome. *J Gastroenterol Hepatol*. 2007; 22: 2266-72.
- 210) Molla YB, Wardrop NA, Le Blond JS, Baxter P, Newport MJ, Atkinson PM y Davey G. Modelling environmental factors correlated with podoconiosis: a geospatial study of non-filarial podoconiosis. *Internat J Health Geograph*. 2014; 13:24; pp. 1-12.
- 211) Dougherty SH, Fiegel VD, Nelson RD, Rodeheaver GT y Simmons RL. Effects of soil infection potentiating factors on neutrophils in vitro. *Am J Surg*. 1985; 150: 306-11.
- 212) Williams LB, Metge DW, Eberl DD, Harvey RW, Turner AG, Prapaipong P, Poret-Peterson AT. What Makes a Natural Clay Antibacterial? *Environ Sci Technol*. 2011; 45: 68-73.
- 213) Otto CC y Haydel SE. Exchangeable ions are responsible for the in vitro antibacterial properties of natural clay mixtures. *PLoS One* 2013, 8 (5); e64068; pp. 1-8.

- 214) Ferguson JS, Yeshanehe WE, Matts PJ, Davey G, Mortimer PS, Fuller LC: Assessment of skin barrier function in podoconiosis: measurement of stratum corneum hydration and transepidermal water loss. *Br J Dermatol*. 2013; 168: 550-4.
- 215) Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 2002; pp. 60-68.
- 216) Gallardo J y Saldaña A. Génesis, clasificación y problemas agronómicos de los barros. Tierra de Barros, Extremadura. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, núm. 12. Ed. Universidad Complutense, 1992; pp. 1-11.
- 217) Dissanayake CB y Chandrajith R. Medical geochemistry of tropical environments. *Earth Sci Rev*. 1999; 47: 219-58.
- 218) Gilberti RM, Joshi GN y Knecht DA. The phagocytosis of crystalline silica particles by macrophages. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2008; 39: 619–627.
- 219) De Lalla F, Zanoni P, Lunetta Q y Meltrasio G. Endemic non-filarial elephantiasis in Iringa district, Tanzania: a study of 30 patients. *Trans R Soc Tropical Med Hyg*. 1988; 82: 895-7.
- 220) Le Blond JS, Cuadros J, Molla YB, Berhanu T, Umer M, Baxter PJ y Davey G. Weathering of the Ethiopian volcanic province: A new weathering index to characterize and compare soils. *American Mineralogist*. 2015; 100: 2518–32.
- 221) Steinnes E. Soils and geomedicine. *Environ Geochem Health*. 2009; 31: 423-35.
- 222) Grigoriev NA. Distribution of beryllium at the surface of the Earth. *Int Geol Rev*. 1986; 28: 127-179.
- 223) Jones-Williams W y Wallach ER. Laser microprobe mass spectrometry (LAMMS) analysis of beryllium, sarcoidosis and other granulomatous diseases. *Sarcoidosis*. 1989; 6: 111-7.
- 224) Rossman MD. Chronic beryllium disease: diagnosis and management. *Environ Health Perspect*. 1996; 104 (Suppl. 5): 945-7.
- 225) Krönberg BI, Fyfe WS, Leonardos OH y Santos AM. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. *Chem Geol*. 1979; 24, 211–229.
- 226) Williams RM y Skipworth GB. Zirconium granulomas for the glabrous skin following treatment of rhus dermatitis. *Arch Dermatol*. 1959; 80: 63-6.
- 227) Epstein WL y Allen JR. Granulomatous hypersensitivity after use of zirconium-containing poison oak lotions. *JAMA*. 1964; 190: 940-2.

- 228) Montemarano AD, Sau P, Jonson FB y James WD. Cutaneous granulomas caused by an aluminum-zirconium complex: an ingredient of antiperspirants. *J Am Acad Dermatol*. 1997; 37: 496-8.
- 229) Cullander C, Jeske S, Imbert D, Grant PG y Bench G. A quantitative minimally invasive assay for the detection of metals in the stratum corneum. *J Pharm Biomed Anal*. 2000; 22: 265-279.
- 230) Benohanian A. Antiperspirants and deodorants. *Clin Dermatol*. 2001; 19: 398-405.
- 231) Kurtz AC, Derry LA, Chadwik OA y Alfano MJ. Refractory element mobility in volcanic soils. *Geology*. 2000; 28: 683-6.
- 232) Molla YB. Thesis. The spatial epidemiology of podoconiosis in northern Ethiopia. 7.3. Environmental level correlates. University of Brighton and the University of Sussex. Brighton and Sussex Medical School. 2014; pp. 147-154.
- 233) Lar UA y Gusikit RB. Environmental and health impact of potentially harmful elements distribution in the Panyam (Sura) volcanic province, Jos plateau, Central Nigeria. *Environ Health Sci*. 2015; 74: 1699-1710.
- 234) Brotzu P, Morbidelli L, Piccirillo EM y Traversa G. Petrological features of Boseti mountains, a complex volcanic system in the axial portion of the main Ethiopian Rift. *Bull Volcanol*. 1974; 38: 206-34.
- 235) Smith B, Rawlins BG, Cordeiro MJAR, Hutchins MG, Tiberindwa JV, Serunjogi LS *et al*. The bioaccessibility of essential and potentially toxic trace elements in tropical soils from Mukono District, Uganda. *J Geol Soc*. 2000; 157: 885-91.
- 236) Larese Filon F, Crosera M, Timeus E, Adami G, Bovenzi M, Ponti J *et al*. Human skin penetration of cobalt nanoparticles through intact and damaged skin. *Toxicol In Vitro*. 2013; 27: 121-7.
- 237) Plum LM, Rink L y Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int J Environ Res Public Health*. 2010; 7: 1342-65.
- 238) Conway D. The climate and hydrology of the upper Blue Nile river. *Geographical J*. 2000; 166: 46-62.
- 239) Japan International Cooperation Agency (JICA) & Oromia Irrigation Development Authority (OIDA) The project for Capacity Building in Irrigation Development (CBID). Guideline for Irrigation Master Plan Study Preparation on Surface Water Resources (may, 2014); pp. 1-154.
- 240) Zinabu GM, Kebede-Westhead E y Desta Z. Long-term changes in chemical features of waters of seven Ethiopian rift-valley lakes. *Hydrobiology* 2002; 477: 81-91.



- 241) Ayenew T. Water management problems in the Ethiopian rift: Challenges for development. *J Afr Earth Sci.* 2007; 48:222-36.
- 242) Behnke R y Kerven C. Counting the costs: replacing pastoralism with irrigated agriculture in the Awash valley, north-eastern Ethiopia. The International Institute of Environment and Development. IIED Climate Change Working Paper No. 4, March 2013; pp: 1-48.
- 243) Pascual-Ferrera J, Pérez-Fogueta A, Codonyc J, Raventós E y Candelab L. Assessment of water resources management in the Ethiopian Central Rift Valley: environmental conservation and poverty reduction. *Internat J Water Resources Develop.* 2014; 30; 572–87.
- 244) Legesse W, Haile Mariam D y Kloos H. Water supply and sanitation. En: *The Epidemiology and Ecology of Health and Disease in Ethiopia*. Berhane Y, Haile Mariam D y Kloos H (Eds). Shama Books, Addis Abeba, 2006; pp: 129- 146.
- 245) Lautze J, Giordano M y Kloos H. Water resources development and management in Sub-Saharan Africa: overview and global context. En: Kloos H, Legesse W. (Eds.). *Water resources management in Ethiopia: implications for the Nile Basin*. Amherst, NY, USA: Cambria Press. 2010. Ch.1; pp: 1-29.
- 246) Chernet T, Travi Y y Valles V. Mechanism of degradation of the quality of natural water in the lakes region of the Ethiopian Rift Valley. *Water Research.* 2001; 35: 2819– 32.
- 247) Moges S, Kloos H, McFeeters S y Legesse W. The water resources of Ethiopia and large-scale hydropower and irrigation development. *Ibid.* Ch. 3; pp: 63-101.
- 248) Demessie A, Singh BR, Lal R y Børresen T. Effects of eucalyptus and coniferous plantations on soil properties in Gambo district, southern Ethiopia. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B.- Soil & Plant Science.* 2012; 62: 455-66.
- 249) Kebede S. The linkage between geological setting and human health in Ethiopia: A preliminary geo-environmental-health model. *Ethiop J Sci.* 2009; 32: 87-98.
- 250) Reimann C, Bjorvatn K, Frengstad B, Melaku Z, Tekle-Haimanot R y Siewers U. Drinking water quality in the Ethiopian section of the East African Rift Valley, part I: data and health aspects. *Sci Tot Env.* 2003; 311: 65–80.
- 251) Kebede S, Travi Y y Stadler S. Groundwaters of the Central Ethiopian Rift: Diagnostic trends in trace elements,  $\delta^{18}\text{O}$ , and major elements, *Environ Earth Sci.* 2010; 61: 1641-55.
- 252) Messina M y Redmond G. Effects of soy protein and soybean isoflavones on thyroid function in healthy adults and hypothyroid patients: a review of the relevant literature. *Thyroid.* 2006; 16: 249-58.

253) Vanderpas J. Nutritional epidemiology and thyroid hormone metabolism. *Annu Rev Nutr.* 2006; 26: 293-322.

254) Duressa TF, Mohammed AY, Feyissa GR, Tufa LT y Khalid Siraj K. Comparative analysis of iodine concentration in water, soil, cereals and table salt of Horaboka, Mio and Besaso towns of Bale Robe, south-east Ethiopia. *J Environ Poll Hum Health.* 2014; 2: 27-33.

255) Lazarus JH. Lithium and thyroid. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2009; 23:723-33.

256) Tekle-Haimanot R, Melaku Z, Kloos H, Reiman C, Fantaye W, Zerihun L y Bjorvatn K. The geographic distribution of fluoride in surface and groundwater in Ethiopia with emphasis on the Rift Valley. *Sci Total Environ.* 2006; 367: 182-90.

257) Rango T, Kravchenko J, Atlaw B, McCornick PG, Jeuland M, Merola B y Vengosh A. Groundwater quality and its health impact: An assessment of dental fluorosis in rural inhabitants of the main Ethiopian Rift. *Environ Int.* 2012; 43:37-47.

258) Mekonnen KN, Ambushe AA, Chandravanshi BS, Redi-Abshiro M y McCrindle RI. Occurrence, distribution and ecological risk assessment of potentially toxic elements in surface sediments of lake Awassa and lake Ziway, Ethiopia. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2015; 50: 90-9.

259) Yohannes YB, Ikenaka Y, Saengtienchai A, Watanabe KP, Nakayama SM y Ishizuka M. Occurrence, distribution, and ecological assessment of DDTs and heavy metals in surface sediments from lake Awassa-Ethiopian Rift Valley lake. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2013; 20: 8663-71.

260) Freeze RA y Cherry JA. Groundwater and chemical constituents. Ch. 3.1. Water and electrolytes. En: *Groundwater.* Prentice Hall, NJ, 1979; pp. 82-5.

261) Yasin M, Ketema T y Bacha K. Physico-chemical and bacteriological quality of drinking water of different sources, Jimma zone, southwest Ethiopia. *BMC Res Notes.* 2015; 8:541; pp 1-13.

262) Alemu ZA, Teklu KT, Alemayehu TA, KH y Mengesha SD. Physicochemical quality of drinking water sources in Ethiopia and its health impact: A retrospective study. *Environ Syst Res.* 2015; 4:22; pp. 1-8.

263) Zewdu ZT. Ground water quality determination of former lake Haramaya, Haramaya District, eastern Haranghe zone, Oroma Regional State, Ethiopia. *J Appl Sci Environ Manage.* 2012; 16: 245–52.

264) Prabu PC, Wondimu L y Tesso M. Assessment of water quality of Huluka and Alaltu rivers of Ambo, Ethiopia. *J Agr Sci Tech.* 2011; 13: 131-8.

265) Weldemariam MM. Physico-chemical analysis of GudBahri river water of Wukro, Eastern Tigray, Ethiopia. *Internat J Scient Res Pub.* 2013; 3:1-4.

- 266) Babor JA e Ibarz J. Química General Moderna. Carbono y Silicio. Capítulo 30. PP. 670-6. Editorial Marín. Barcelona, 1973.
- 267) Round FE, Crawford RM y Mann DG Eds. Biology of Diatoms. pp. 1-10. En: The Biology & Morphology of the Genera. Cambridge University Press, 1990.
- 268) Matthess G. The Properties of Ground Water. John Wiley and Sons, New York, U.S.A., 1982; pp. 397.
- 269) Desta K. Physico-chemical and bacteriological quality assessment of drinking water from source to households distribution point in Debrezeit town. M.Sc. Thesis, Addis Ababa University, Ethiopia; 2009.
- 270) Tabor M, Kibret M y Abera B. Bacteriological and physicochemical quality of drinking water and hygiene sanitation practices of the consumers in Bahir Dar City, Ethiopia. *Ethiop J Health Sci.* 2011; 21: 19-26.
- 271) Tsega N, Sahile S, Kibret M y Abera B. Bacteriological and physico-chemical quality of drinking water sources in a rural community of Ethiopia. *Afr Health Sci.* 2013; 13: 1156-61.
- 272) Melaku S, Wondimu T, Dams R y Moens L. Pollution status of Tinishu river and its tributaries (Ethiopia) evaluated using physico-chemical parameters, major ions, and nutrients. *Bull Chem Soc Ethiop.* 2007; 21: 13-22.
- 273) Seda T, Assefa M, Chandravanshi BS y Redi M. Levels of common ions in bottled mineral waters consumed in Addis Ababa, Ethiopia. *Ethiop J Sci.* 2013; 36: 27-40.
- 274) Tafa B y Assefa E. Detection of copper and zinc (heavy metals) in water of lake Chamo, Arbaminch Ethiopia. *World J Chem Educ.* 2014; 2: 42-7.
- 275) Gizaw E, Chandravanshi BS y Zewge F. Correlation among fluoride and metals in irrigation water and soils of Ethiopian Rift Valley. *Bull Chem Soc Ethiop.* 2014; 28: 229-44.
- 276) Malde MK, Zerihun L, Jushamin K y Bjorvatn K. Fluoride intake in children in high fluoride area in Ethiopia –intake through beverages. *Int J Pediatr Dentistry.* 2006; 13:27-34.
- 277) Reinhart RA. Magnesium metabolism. *Arch Intern Med.* 1988; 148: 2415-20.
- 278) Aschale M, Sileshi Y, Kelly-Quinn M y Hailu D. Potentially Toxic Trace Element Contamination of the Little Akaki River of Addis Ababa, Ethiopia. *J Nat Sci Res.* 2015; 5: 1-12.

- 279) Dsikowitzky L, Mengesha M, Dadebo E, Veiga de Carvalho CE y Sindern S. Assessment of heavy metals in water samples and tissues of edible fish species from Awassa and Koka Rift Valley lakes, Ethiopia. *Environ Monit Assess.* 2012. DOI 10.1007/s10661-012-2777-8; pp 1-15.
- 280) Babor JA e Ibarz JL. Estructura atómica. III. Valencia y estructura molecular. Cap. 12. En: *Química General Moderna*. Edit. Marín. Barcelona, 1973; pp. 200-26.
- 281) Feingloss MN y Jegasoth BV. Insulin allergy due to zinc. *Lancet.* 1979; 1: 122-4.
- 282) Jordaan HF y Sandler M. Zinc-induced granuloma -a unique complication of insulin therapy. *Clinical and Experimental Dermatology.* 1989; 14: 227-9.
- 283) Tarasenko NY, Pronin OA y Silaev AA. Barium compounds as industrial poisons (an experimental study). *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol*, 1977; 21:361-373.
- 284) Lide DR. 2005. *CRC handbook of chemistry and physics*. Barium. New York, NY: CRC Press. 2005; 4-50, 4-51, 14-17.
- 285) Toxicological Profile for Barium and Barium Compounds. Ongoing Studies on Environmental Fate and the Potential for Human Exposure to Barium and Barium Compounds U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. August 2007. pp. 139-141.
- 286) Guegana S, Lanternier F, Rouzaud C, Duping N y Lortholary O. Fungal skin and soft tissue infections. *Curr Opin Infect Dis.* 2016; 29: 124-30.
- 287) Zaidi Z, Walton S, Hussain I y Wahid Z. Fungal Infections. Ch. 5. En: *A Manual of Dermatology*. 2nd Ed. Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd. New Delhi, 2015; pp. 106-135.
- 288) Morrone A, Padovese V, Dassoni F, Pajno MC, Marrone R, Franco G et al. Podoconiosis: An experience from Tigray, northern Ethiopia. (Carta). *J Am Acad Dermatol.* 2011; 65: 214-5.
- 289) WHO (2011) Diseases covered by NTD Department. In: WHO, editor. Diseases covered by NTD Department. Geneva: WHO. pp. [http://www.who.int/neglected\\_diseases/diseases/en](http://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en)
- 290) CDC. Neglected Tropical Diseases. June 6, 2011.
- 291) Deribe K, Wanji S, Shafi O, Tukahebwa EM, Umulisa I, Molyneux DH y Davey G. The feasibility of eliminating podoconiosis. *Bull of the WHO.* 2015; 93: 712-8.
- 292) Deribe K. The countdown to 2020: measuring progress in neglected tropical diseases. *Lancet Glob Health* 2016; 4(3):e163.

- 293) Mengitsu B, Shafi O, Kebede B, Kebede F, Worku DT, Herero M et al. Ethiopia and its steps to mobilize resources to achieve 2020 elimination and control goals for neglected tropical diseases webs joined can tie a lion. *Int Health*. 2016; 8 Suppl 1: i34-i52.
- 294) United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. Final Report: International forum on scientific and technological literacy for all. UNESCO. Paris; 1993; pp. 1-127.
- 295) Chowdhury KP. Literacy and Primary Education. Human Resources Development and Operations Policy. HRO. Working Papers. World Bank. Washington DC 1995; pp: 1-25.
- 296) Heneveld W y Craig HY. Schools count: World Bank Project Designs and the quality of primary education in Sub-Saharan Africa. World Bank Technical Paper. The World Bank, Washington DC, 1996; pp. 1-127.
- 297) Lockheed ME. The condition of primary education in developing countries. Ch. 2. En: *Effective Schools in Developing Countries*. Levin HM y Lockheed ME. Eds. Routledge Library Editions: Education. Falmer Press. NY. 2012; pp: 20-40
- 298) Negash T. Education in Ethiopia. III. Constructing a positive role for education in economic and social transformation. From crisis to the brink of collapse. Nordiska Afrikainstitutet, Uppsala 2006. Discussion Paper 33. Stockholm, 2006; pp. 46-50.
- 299) Grover Z y Ee LC. Protein energy malnutrition. *Pediatr Clin North Am*. 2009; 56: 1055-68.
- 300) Tadesse G. The prevalence of intestinal helminthic infections and associated risk factors among school children in Babile town, eastern Ethiopia. *Ethiop J Health Dev* 2005; 19: 140-7.
- 301) Prieto-Pérez L, Pérez-Tanoira R, Cabello-Úbeda A, Petkova-Sáiz E y Górgolas-Hernández-Mora M. Geohelminths. *Enferm Infecc Microbiol Clin*. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eimc.2016.02.002>.
- 302) Estatutos de la Sociedad Económica de Madrid. Artículos 9, 10 y 11. Archivos de la Sociedad Económica de Madrid, 1776; legajo 3; documento 37.
- 303) Kelemework A, Tora A, Amberbir T, Agedew G, Abiyu Asmamaw A, Deribe K y Davey G. 'Why should I worry, since I have healthy feet?' A qualitative study exploring barriers to use of footwear among rural community members in northern Ethiopia. *BMJ Open* 2016; 6: e010354. doi:10.1136; pp. 1-7.
- 304) Hofstraat K y van Brakel WH. Social stigma towards neglected tropical diseases: a systematic review. *Int Health*. 2016; 8. Suppl 1: i53-i70.

- 305) Girma S, Yohannes AG, Kitaw Y, Ye-Ebiyo Y, Seyoum A, Desta H y Teklehaimanot A. Human resource development for health in Ethiopia: Challenges of achieving the millennium development goals. *Ethiop J Health Dev.* 2007; 21: 216-31.
- 306) Berhan Y. Medical doctors' profile in Ethiopia: production, attrition and retention. *Ethiop Med J.* 2008; 46 (Suppl 1): 1-77.
- 307) Agua, saneamiento y salud. Informe de 2015 sobre el Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo sobre el Acceso a Agua Potable y Saneamiento: datos esenciales. Panamá. OMS, 2016.
- 308) Hendrix M. Water in Ethiopia: drought, disease and death. *Global Majority E-Journal.* 2012; 3: 110-20.
- 309) Eltahir E.A.B. El Niño and the natural variability in the flow of the Nile River. *Water Resources Research*, 1996; 32: 131-7.
- 310) Gudmundson C. El Niño and climate prediction. Ch. 2 En: El Niño: Overview and bibliography. Ed. Babkina AM. Nova Science Pub.(NY), 2003; pp. 5-28.
- 311) Africa News, January 6, 2016. Ethiopia is facing humanitarian crisis due to El Niño. January 16. <http://www.africanews.com/2016/01/06/ethiopia-is-facing-a-humanitarian-crisis-due-to-el-Niño>.
- 312) Sutton S. Ethiopia. Rural Household Investment in Water Supply. Proposal for Study of Potential for Self Supply in Ethiopia, Preparatory to Large Scale Implementation. Consultancy report prepared for Rural Water Supply Network/Water and Sanitation Program, WSP, RWSN, SWL Consultants. Shewsbury, UK. 2007; pp: 1-17.
- 313) Baum R, Luh J, Bartram J. Sanitation: a global estimate of sewerage connections without treatment and the resulting impact on MDG progress. *Environ Sci Technol.* 2013; 47: 1994–2000.
- 314) UNICEF. Child feces disposal in Ethiopia. Water and Sanitation Program. World Bank Group. December, 2014; pp. 1-4.
- 315) Ethiopia Weekly Humanitarian Bulletin, 4 January 2016. Report from UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.
- 316) Beyene A, Hailu T, Faris K y Kloos H. Current state and trends in access to sanitation in Ethiopia and the need of revise indicator to monitor progress in the post-2015 era. *BMC Public Health.* 2015; 15: 451; pp. 1-8.
- 317) Gibson J y Rozelle S. Poverty and access to roads in Papua New Guinea. *Econ Develop Cultural Change.* 2003; 52: 159–85.

- 318) Dercon S. Growth and shocks: Evidence from rural Ethiopia. *J Develop Econ*. 2004; 74: 309-29.
- 319) Dercon S, Gilligan D, Hoddinott J y Woldehanna T. The impact of agricultural extension and roads on poverty and consumption growth in fifteen ethiopian villages. International Food Policy Research Institute. Discussion Paper 00840. Washington, 2008; pp. 1-14.
- 320) Briceño-Garmendia C, Smits K y Foster V. Financing Public Infrastructure in sub-Saharan Africa: Patterns and Emerging Issues. Background Paper No. 15; Africa Infrastructure Country Diagnostic. The World Bank. Washington DC, 2008; pp. 1-71.
- 321) Iimi A, Lancelot E, Manelici I y Ogita S. Evaluating the social and economic impacts of rural road improvements in the State of Tocantins, Brazil. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Washington DC, 2015; pp. 1-54.
- 322) Who Benefits from Rural Electrification? Ch. 3. En: The Welfare Impact of Rural Electrification. A Reassessment of the Costs and Benefits. The Independent Evaluation Group. The World Bank DC, 2008; pp. 17-28.
- 323) What Is Electricity Used for in Rural Areas? *Ibid*. Ch. 4; pp 29-38.
- 324) *Ibid*. The Benefits of Rural Electrification. *Ibid*. Ch. 5; pp: 39-52.
- 325) Africa Energy Outlook. A Focus on Energy Prospects in Sub-Saharan Africa. Ch. 4. Outlook for African energy to 2040. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency. OECD/IEA. Paris, 2014; pp: 69-118.
- 326) Abebe D. Egypt, Ethiopia and the Nile. How to share water along the Nile. The Economics and International Law. University of Chicago Law School. Theory Working Paper N° 484. pp 1-26. Lienhardt JH y Strzepek KM. The New York Times, 28 de septiembre de 2015
- 327) Barnes D, Singh B y Shi X. Modernizing energy services for the poor: A World Bank Investment Review – Fiscal 2000-08, World Bank Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Ch. 5. The World Bank. Washington DC, 2010; pp. 53-58.
- 328) Tessama Z, Davis M, Vilchis Tella P y Lambe F. Finding entry points for mainstreaming energy access. Ch. 4.2. En: Mainstreaming Sustainable Energy Access into National Development Planning: the Case of Ethiopia. National bioenergy development and utilization strategies and programmes. Stockholm Environment Institute, Working Paper 2013-09. Stockholom, 2013; pp: 10-13.
- 329) Bekele K. Ethiopia: Chinese company plans to produce gas by 2018. All Africa. 4, october, 2014.

- 330) The World Bank Implementation Status & Results Report. Ethiopia Geothermal Sector Development Project (P133613). 24-Nov-2015 | ISR19638.|
- 331) Rudel TK. The national determinants deforestation in sub-Saharan Africa. *Phil Trans R Soc B*. 2013; pp: 1-7. 368:20120405. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0405>.
- 332) Cheng S, Hiwatashi Y, Imai H, Naito M, Numata T. Deforestation and degradation of natural resources in Ethiopia: Forest management implications from a case study in the Belete-Gera forest. *J For*. 1998; 3: 199-204.
- 333) Dessie G. Forest decline in South Central Ethiopia. Extent, history and process. Department of Physical Geography and Quaternary Geology. Degree of Doctor of Philosophy in Physical Geography. Doctoral dissertation. Stockholm University, 2007; pp. 1-90.
- 334) Dessie G y Kleman J. Pattern and magnitude of deforestation in the South Central Rift Valley Region of Ethiopia. *Mountain Res Develop*. 2007; 27:162-8.
- 335) Gebreslassie H. Land use-land cover dynamics of Huluka watershed, Central Rift Valley, Ethiopia. *Internat Soil Water Conservat Res*. 2014; 2: 25-33.
- 336) Daksa MD y Kotu BH. Determinants of deforestation in Western Oromia region of Ethiopia: The case of Komto Forest. *J Hortic For*. 2015; 7: 118-26.
- 337) Gebissa E. Khat in the horn of Africa: Historical perspectives and current trends. *J Etnopharmacol*. 2010; 132: 607-14.
- 338) Zaghloul A, Abdalla A, El Gammal H y Moselhi H. The consequences of khat use: A review of literature. *Eur J Psychiatry*. 2003; 17: 77-86.
- 339) Feyisa TH y Aune JB. Khat expansion in Ethiopian highlands. Effects on the farming system in Habro District. *Mount Res Develop*. 2003; 23: 185-9.
- 340) Toennes S W, Harder S, Schramm M, Niess C y Kauert GF. Pharmacokinetics of cathinone, cathine and norephedrine after the chewing of khat leave. *Br J Clin Pharmacol*. 2003; 56: 125-30.
- 341) Bentur Y, Bloom-Krasik A y Raikhlin-Eisenkraft B. Illicit cathinone ("Hagigat") poisoning. *Clin Toxicol (Phila)*. 2008; 46: 206-10.
- 342) Uwimana C. Sub-sahararian Africa: Corruption still hurts daily lives. Transparency International. The global coalition against corruption. Corruption Perception Index, 2014.







## **ANEXOS**

---



**Anexo 1. Adaptación del *Podoconiosis mapping study questionnaire*. School of Public Health. Addis Ababa University.**

**DEMOGRAPHIC AND SOCIOECONOMIC INFORMATION**

**INDIVIDUAL IDENTIFICATION NUMBER**

Sex        ☐ 1 = Male        ☐ 2 = Female    Age   \_\_\_\_\_    Years

**PERMANENT RESIDENCE:**

☐ 1 = Rural        ☐ 2 = Urban

Number of years living in the current location:

**MAJOR OCCUPATION CURRENTLY:**

☐ 1 = Employed        ☐ 2 = Businessman/women        ☐ 3 = Farmer  
☐ 4 = Housewife        ☐ 5 = Daily laborer        ☐ 6 = Student  
☐ 7 = Have no Job        ☐ 8 = Other. Specify:

**ABLE TO READ AND WRITE IN ANY LANGUAGE:**

☐ 1 = Yes        ☐ 2 = No

If the response for the above question is yes, ever attended to formal school:

☐ 1 = Yes    Grade   \_\_\_\_\_    ☐ 2 = No

**ETHNIC GROUP:**

☐ 1 = Oromo        ☐ 2 = Amhara    ☐ 3 = Tigre  
☐ 4 = Guraghe        ☐ 5 = Other. Specify

**TYPE OF FLOOR AT HOME:**

☐ 1. Cement        ☐ 2. Wood        ☐ 3. Mud        ☐ 9. Other

CURRENT MARITAL STATUS:

☐ 1=Single      ☐ 2= Married      ☐ 3 = Divorced      ☐ 4 = Widowed

SHOE WEARING AND FOOT CARE PRACTICE

Age when first got shoes:

Shoes the person is wearing:

☐ Hard plastic    ☐ Open sandal    ☐ Leather      ☐ Shera  
☐ Barefooted

When shoes are worn?

☐ At home      ☐ During rainy season    ☐ On market days      ☐ On the field  
☐ On Sundays                      ☐ When walking far

TIME (IN MIN) TO GET TO THE NEAREST WATER SOURCE?

WHEN ARE FEET WASHED?

☐ Whenever they are dirty      ☐ Before sleeping      ☐ Others. Specify

FREQUENCY IN WASHING FEET VERY CAREFULLY SO THAT THEY ARE VERY CLEAN:

☐ Twice a day      ☐ Daily      ☐ Every three days      ☐ Weekly

LEG SWELLING HISTORY AND PHYSICAL EXAMINATION:

FAMILY MEMBER AFFECTED OR FAMILY HISTORY OF LEG SWELLING:

☐ 1 = Yes                      ☐ 2 = No

Number of people in family (living or dead) who have leg swelling:

Age when first noticed swollen leg:

Where did the swelling started from:

PREVIOUS HISTORY OF RHEUMATIC RHEUMATIC HEART DISEASE

☐ 1 = Yes

☐ 2 = No

SWELLING IN THE GROIN AREA:

☐ 1 = Yes

☐ 2 = No

DIAGNOSED LEPROSY PATIENT:

☐ 1 = Yes

☐ 2 = No

THROUGH PHYSICAL EXAMINATION, PRESERVATION OF SENSATION  
IN THE TOES:

☐ 1 = Yes

☐ 2 = No

WHY DO YOU THINK THIS DISEASE IS PRODUCED?

WHY DIDN'T YOU ATTEND TO THE HOSPITAL BEFORE?





## LABORATORIO DEL IGME

C/ LA CALERA, 1. 28760 –TRES CANTOS (MADRID) Tf. 91 7286166. FAX 91 7286150  
Correo electrónico: j.reyes@igme.es

INFORME DE LABORATORIO Nº 14/0020		Hoja 1 de 13
Solicitante: Juan José Soriano Cea/ Laura Prieto Pérez Dirección: Correo electrónico: jj.soriano@hotmail.es/lauraprieto83@gmail.com Teléfono: 651010375/665107927 Fax:		
<b>Fecha recepción:</b> 14/01/2014		<b>Fechas de ensayo:</b> 28/01/2013 a 23/05/2014
<b>Muestreo:</b> Realizado por el solicitante		
Procedimientos de ensayo:  <b>Ver hoja 3</b>		
Observaciones:		
Realizado: Responsable del Laboratorio de Química y Geoquímica   Fdo: Jesús Reyes Andrés		
Fecha: 23 de mayo de 2014		

Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo.  
Este informe no podrá reproducirse, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.  
Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión y entrega de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

**SEDE CENTRAL:**  
Ríos Rosas, 23  
28003 MADRID  
Teléfono 91 349 5700  
Fax 91 449 6216



INFORME DE LABORATORIO Nº 14/0020

Hoja 2 de 13

## IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Registro del Solicitante	Registro del Laboratorio
M3010_1	4737-1
M3010_2	4737-2
M3010_3	4737-3
M3010_4	4737-4
M3110_1	4737-5
M3110_2	4737-6
M3110_3	4737-7
M3110_4	4737-8
M0411_1	4737-9
M0611_1	4737-10
M0611_2	4737-11
M1111_1	4737-12
M1111_2	4737-13
M1211_1	4737-14
M1311_1	4737-15
M1911_1	4737-16
M1911_2	4737-17
M1911_3	4737-18
M2011_1	4737-19
M2111_1	4737-20
M2111_2	4737-21
M2111_3	4737-22
M2111_4	4737-23
M2311_1	4737-24
M2311_2	4737-25
M2311_3	4737-26
M2311_4	4737-27
M2411_1	4737-28
M2411_2	4737-29
M2411_3	4737-30
M1911_4	4737-31
A-1311_1	4737-32
A-3110_2	4737-33
A-3110_1	4737-34
A-2011_1	4737-35
A-3010_1	4737-36
B1-ASOKA	4737-37
B2-BOMBASO	4737-38

## DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

1 a 31: Muestras sólidas de suelo

32 a 36: Muestras de aguas

37 y 38: Muestras de biopsias

**PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO****❖ Muestras de suelo: análisis granulométrico**

- Análisis granulométrico completo. Se aplican los Procedimientos Técnicos de Ensayo PTE-001 (tamizado) y PTE-MI-003 (Sedimentación: Sedigraph) MI-

**❖ Muestras de suelo****▪ Preparación de la muestra**

- Secado de la muestra a temperatura ambiente.
- Molienda a tamaño de análisis de una parte representativa de la fracción inferior a 4 mm.

**• Determinaciones químicas**

- Determinación de elementos mayoritarios:
  - o Determinación de Si, Al, Fe, Ca, Ti, Mn, K, Mg y P por fluorescencia de Rayos X con un equipo PANalytical MagiX. Las incertidumbres asociadas a estas determinaciones se pueden consultar en el ANEXO 1.
  - o Determinación de Na por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Fusión con metaborato de litio. Relación fundente: muestra (0.3:0.2).
  - o Determinación de la ppc a 950°C.
- Determinación de elementos traza.
  - o Determinación de Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Tl, Pb, Th y U por ICP-MS. Digestión de la muestra con HF, HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> concentrados hasta sequedad y disolución del residuo con HNO<sub>3</sub> 6%. Medida con un equipo Agilent 7500ce.
- Análisis por Difracción de Rayos X. Método del polvo cristalino (PTE-RX-004). Medida en equipo XPERT PRO MPD de PANalytical: tubo de cobre (40mA; 40kV), monocromador de grafito y rendija automática. Software de captación de datos X'Pert Data Collector 2.1.a (PANalytical). Se ha utilizado el software HighScore versión 3.0.4 (PANalytical) y las bases de Datos PDF-2 (ICDD) y CODJanuary2012 para el posterior análisis e interpretación de los datos obtenidos. Para el estudio de la fracción arcilla se han preparado Agregados Orientados, que se han estudiado en ambiente normal, solvatados con etilenglicol en fase vapor a 60°C durante 48 horas y calentados a 550°C durante dos horas (diagramas A, E y T, respectivamente). Para la SEMICUANTIFICACIÓN se ha utilizado el "Método de los Poderes Reflectantes" (Schultz, 1964; Barahona, 1974).

**❖ Muestras de agua**

- Determinación de la conductividad eléctrica. Electrometría. PTE-AG-001. Ed.5
- Determinación de pH. Electrometría. PTE-AG-002. Ed.6
- Determinación de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> por Espectrofotometría de Absorción UV-Vis con un autoanalizador de flujo continuo Alliance Integral Plus.
- Determinación de Na, K, Mg y Ca por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Llama) con un equipo Varian SpectrAA 220FS.
- Determinación de F<sup>-</sup> con un electrodo selectivo de fluoruro.
- Determinación de CN<sup>-</sup> con un electrodo selectivo de cianuro.
- Determinación de Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb, Th y U por ICP-MS con un equipo Agilent 7500 ce.

**❖ Muestras de biopsia**

- Eliminación del alcohol etílico de conservación de la muestra
- Disolución de la muestra en un horno microondas CEM Mars 5 con una mezcla de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno.
- Determinación de Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb, Th y U por ICP-MS con un equipo Agilent 7500 ce.

**RESULTADOS****MUESTRAS DE SUELOS****ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

MUESTRA	M3010_4	M3110_4	M1111_1
TAMAÑO DE ABERTURA NOMINAL (mm)	PASO (%)	PASO (%)	PASO (%)
10	100,00	100,00	100,00
8	100,00	100,00	100,00
4	100,00	99,87	99,38
2	100,00	99,81	98,79
1	99,76	99,06	95,99
0,500	98,41	92,50	82,72
0,250	94,86	80,56	64,48
0,125	93,06	74,21	56,68
0,063	91,23	70,61	52,55
0,050	90,23	69,83	51,92
0,030	87,40	67,78	49,77
0,025	85,30	66,16	48,19
0,020	81,74	63,12	45,56
0,015	74,99	57,83	41,41
0,008	59,39	44,69	31,90
0,004	41,69	30,22	21,70
0,002	31,20	22,59	16,45



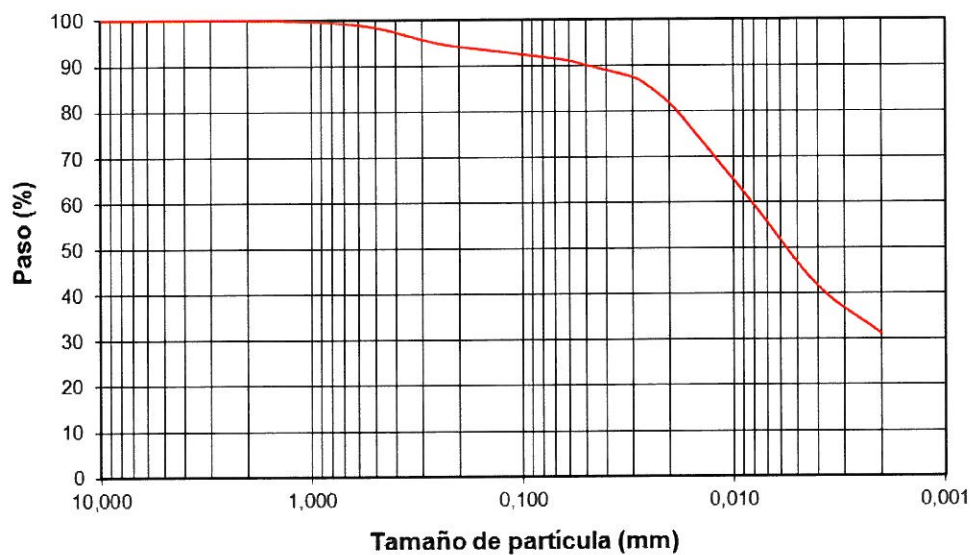
MUESTRA	M1911_3	M2111_2	M2311_3
TAMAÑO DE ABERTURA NOMINAL (mm)	PASO (%)	PASO (%)	PASO (%)
10	100,00	100,00	100,00
8	100,00	99,73	100,00
4	100,00	99,50	100,00
2	99,90	98,70	99,92
1	98,58	96,15	99,46
0,500	90,67	84,51	94,71
0,250	78,52	67,11	84,93
0,125	73,09	57,21	80,65
0,063	70,54	52,00	78,32
0,050	69,90	51,11	78,00
0,030	69,34	49,40	76,67
0,025	68,77	48,36	75,81
0,020	67,57	47,16	74,32
0,015	65,32	45,39	71,74
0,008	58,76	41,13	64,92
0,004	48,67	34,79	54,35
0,002	39,85	29,90	45,42



Las curvas granulométricas obtenidas son las siguientes:

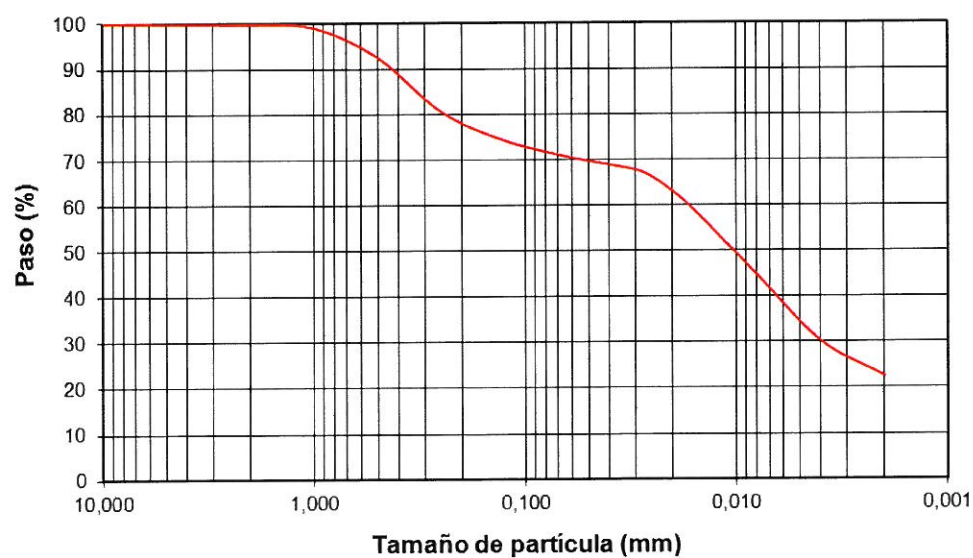
M3010\_4

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**

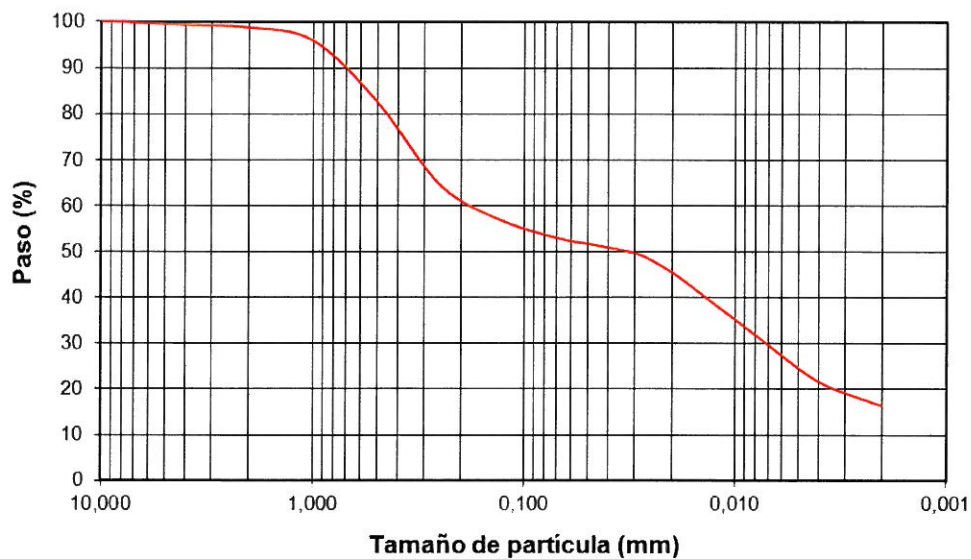


M3110\_4

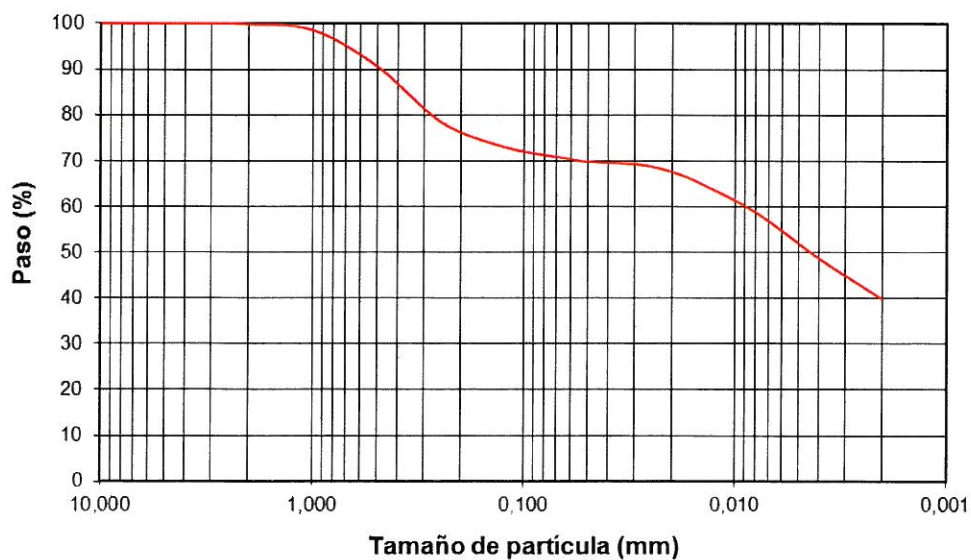
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**



M1111\_1

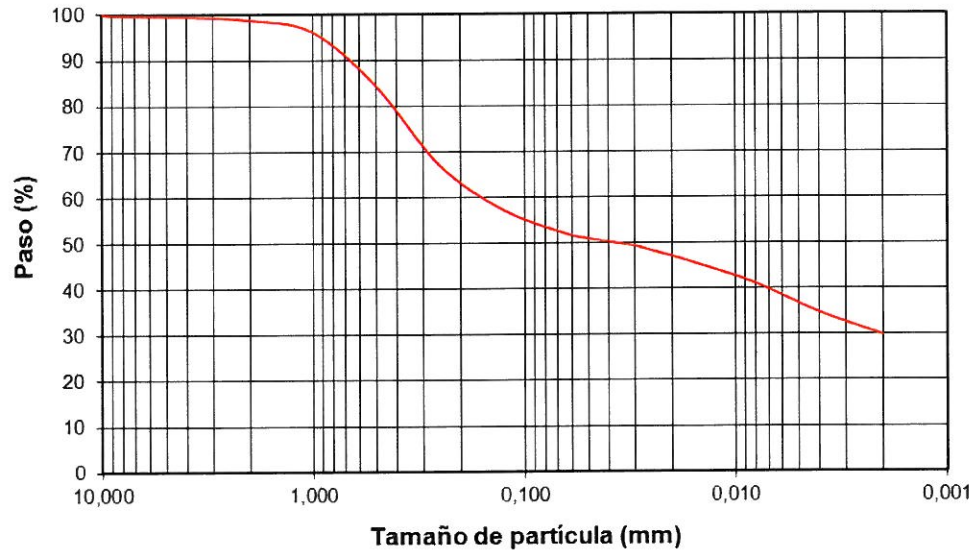
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**

M1911\_3

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**

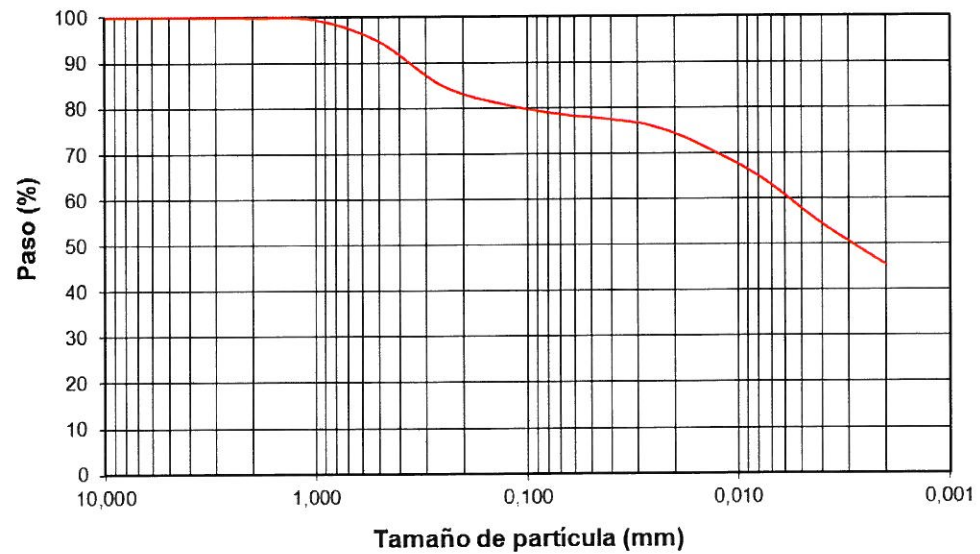
M2111\_2

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**



M2311\_3

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y SEDIGRAPH**





• **Determinación de elementos mayoritarios (%).**

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	PPC
M3010_1	60.82	13.10	7.04	<0.60	0.87	0.30	2.83	<0.50	0.06	1.85	12.24
M3010_2	64.09	12.75	6.47	<0.60	0.71	0.29	3.05	<0.50	0.06	2.39	8.27
M3010_3	58.52	15.90	8.91	<0.60	1.25	0.29	2.54	0.71	<0.045	1.20	10.08
M3010_4	52.78	12.21	7.51	1.22	1.06	0.53	1.86	0.67	0.26	0.98	21.61
M3110_1	58.10	11.08	6.99	1.07	0.91	0.59	2.85	0.55	0.26	1.69	16.30
M3110_2	53.16	17.06	9.84	<0.60	1.10	0.44	2.01	0.64	0.09	1.15	13.86
M3110_3	57.06	13.41	8.42	0.89	1.12	0.61	2.31	0.62	0.13	1.44	13.95
M3110_4	53.16	12.29	7.65	1.43	0.89	0.47	2.36	0.62	0.64	1.27	20.18
M0411_1	72.23	8.94	4.65	<0.60	0.86	0.13	2.28	<0.50	<0.045	1.81	7.61
M0611_1	58.48	8.25	4.07	1.49	0.65	0.15	1.90	<0.50	0.25	1.13	24.16
M0611_2	66.53	10.10	4.96	0.64	0.68	0.13	2.42	<0.50	0.05	1.82	11.74
M1111_1	60.38	10.98	5.53	0.99	0.71	0.27	3.00	<0.50	0.23	1.93	16.21
M1111_2	63.34	9.79	4.94	0.73	0.68	0.13	2.30	<0.50	0.11	1.66	15.68
M1211_1	62.80	9.58	5.03	0.95	0.65	0.16	2.46	<0.50	0.17	1.59	16.92
M1311_1	43.88	11.88	7.99	1.28	1.08	0.42	1.86	0.53	0.23	1.11	30.91
M1911_1	54.67	14.91	8.46	0.78	1.02	0.32	2.59	0.59	0.22	1.21	15.29
M1911_2	50.70	13.18	7.65	1.09	0.92	0.30	2.48	0.59	0.48	1.02	22.22
M1911_3	56.62	13.79	7.80	<0.60	0.98	0.32	2.67	0.52	0.20	1.40	15.49
M2011_1	51.68	13.26	7.90	2.08	0.94	0.41	2.76	0.73	0.41	1.17	19.35
M2111_1	65.31	10.82	4.93	0.85	0.48	0.30	3.52	<0.50	0.21	3.03	9.96
M2111_2	60.94	13.48	6.72	<0.60	0.81	0.30	3.10	<0.50	0.22	2.44	10.40
M2111_3	57.01	13.70	7.87	<0.60	0.95	0.34	2.67	0.54	0.11	1.48	14.88
M2111_4	60.02	11.48	6.45	<0.60	0.80	0.29	2.74	<0.50	0.13	1.89	15.02
M2311_1	57.49	14.35	8.22	1.04	0.97	0.31	2.69	0.69	0.18	1.90	11.70
M2311_2	50.40	16.43	11.06	4.73	1.80	0.21	1.56	3.28	0.33	2.22	6.80
M2311_3	53.78	13.82	8.32	0.90	1.00	0.42	2.37	0.58	0.24	1.51	17.07
M2311_4	61.82	13.99	7.29	2.63	1.07	0.20	2.89	1.31	0.12	3.22	4.41
M2411_1	58.52	13.38	7.87	<0.60	0.94	0.37	2.68	0.50	0.08	1.60	12.64
M2411_2	58.38	12.79	7.54	0.66	0.97	0.41	2.58	0.55	0.12	1.54	14.67
M2411_3	51.72	14.74	9.01	0.65	1.29	0.40	1.92	0.73	0.28	1.11	18.01
M1911_4	55.26	15.05	8.66	<0.60	1.08	0.33	2.38	0.59	0.08	1.25	14.59



## • Determinación de elementos traza (µg/g)

Muestra	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb	Th	U
M3010_1	4,79	63,1	43,5	13,2	32,4	12,0	151	8,05	13,6	3,57	0,44	< 0,5	0,69	214	0,38	23,4	17,1	3,14
M3010_2	6,29	41,9	28,8	7,55	22,7	5,54	188	9,48	25,8	3,47	0,33	3,72	0,46	179	0,38	20,2	18,3	3,37
M3010_3	4,78	102	63,6	18,5	48,0	20,6	127	10,5	12,9	3,89	0,32	< 0,5	0,71	265	0,49	25,6	20,4	3,54
M3010_4	5,50	80,4	48,8	17,7	49,2	25,2	225	9,16	17,8	4,35	0,40	0,57	0,50	368	0,51	24,6	18,3	3,51
M3110_1	5,82	70,9	44,3	17,7	46,1	26,5	250	8,53	17,8	5,12	0,36	1,39	0,47	411	0,47	23,9	17,6	2,94
M3110_2	5,24	78,9	46,4	15,1	49,9	12,5	178	9,11	12,0	4,14	0,39	< 0,5	0,66	246	0,55	38,0	21,7	3,07
M3110_3	6,07	82,7	47,6	21,7	47,8	12,3	199	9,28	16,1	4,15	0,40	0,50	0,57	350	0,64	31,0	19,0	2,58
M3110_4	4,94	70,9	48,1	14,8	41,9	23,8	220	8,93	16,7	5,45	0,34	< 0,5	0,50	335	0,46	24,6	17,7	2,33
M0411_1	3,31	60,5	29,6	7,78	11,0	8,19	110	6,51	12,3	2,92	0,25	< 0,5	0,41	192	0,27	20,7	15,0	2,58
M0611_1	3,28	42,6	31,6	4,85	17,8	15,2	157	4,50	11,3	2,47	0,21	< 0,5	0,30	180	0,27	16,5	12,0	1,89
M0611_2	4,24	47,1	30,4	7,29	16,3	10,5	169	6,06	14,0	2,94	0,28	< 0,5	0,41	182	0,29	18,8	13,6	2,37
M1111_1	3,59	55,5	37,2	10,6	25,1	14,5	167	6,07	10,4	3,31	0,24	< 0,5	0,53	228	0,30	19,3	12,9	2,25
M1111_2	4,22	53,9	34,6	9,22	18,8	12,5	159	6,52	14,5	3,18	0,25	< 0,5	0,37	196	0,31	19,0	14,2	2,39
M1211_1	3,79	49,6	29,6	8,86	17,2	13,2	151	6,05	12,4	2,59	0,30	< 0,5	0,36	201	0,29	18,0	12,8	1,97
M1311_1	5,07	80,6	41,8	21,1	45,6	20,4	197	8,08	16,2	3,84	0,25	0,55	0,48	369	0,50	20,9	14,7	3,15
M1911_1	4,98	82,3	50,6	16,5	46,3	20,7	213	10,3	17,1	4,12	0,34	< 0,5	0,65	261	0,47	26,5	20,4	3,76
M1911_2	4,47	73,8	46,3	14,4	41,8	22,6	183	9,06	15,7	3,33	0,30	0,80	0,59	281	0,44	23,6	18,4	3,05
M1911_3	4,56	76,0	48,2	15,5	40,0	17,9	164	9,18	15,2	4,05	0,30	< 0,5	0,56	248	0,42	25,1	18,7	3,60
M2011_1	4,36	77,0	52,2	16,6	43,0	24,0	186	8,98	14,5	4,22	0,38	< 0,5	0,65	319	0,46	25,2	17,2	2,94
M2111_1	4,27	36,3	31,5	8,45	19,3	11,2	304	5,37	12,6	3,75	0,23	< 0,5	0,42	231	0,29	18,1	11,5	2,22
M2111_2	4,12	54,0	35,6	11,8	30,8	12,9	163	7,44	13,5	4,57	0,26	1,07	0,41	255	0,38	19,3	14,9	2,72
M2111_3	4,51	75,9	51,3	15,5	40,9	17,5	151	8,93	14,2	4,50	0,32	< 0,5	0,57	254	0,45	25,5	18,9	3,48
M2111_4	4,01	61,9	43,7	13,4	29,9	14,0	146	7,11	12,2	3,86	0,27	< 0,5	0,52	234	0,33	22,3	21,3	3,27
M2311_1	4,69	76,4	49,8	15,7	42,1	16,4	163	9,02	16,2	4,56	0,30	< 0,5	0,49	275	0,41	23,8	17,5	3,06
M2311_2	2,93	158	106	35,6	104	30,5	101	6,16	9,8	3,15	0,18	< 0,5	0,39	312	0,23	13,5	11,2	2,07
M2311_3	5,53	86,1	56,5	18,6	51,5	21,3	224	10,7	19,8	5,16	0,35	0,53	0,70	327	0,48	27,8	19,9	3,38
M2311_4	2,98	84,5	31,7	17,6	27,6	14,5	114	4,31	9,6	2,41	0,17	< 0,5	0,28	200	0,22	13,6	8,8	1,66
M2411_1	4,56	72,9	49,9	14,6	37,3	15,4	168	8,82	14,8	4,46	0,33	< 0,5	0,57	256	0,42	26,7	22,3	3,80
M2411_2	4,44	79,0	50,5	17,6	41,4	18,7	170	8,91	13,3	4,35	0,32	< 0,5	0,62	290	0,45	27,6	19,3	3,55
M2411_3	5,48	93,5	64,8	20,1	54,6	31,2	209	9,96	17,6	3,58	0,30	< 0,5	0,53	394	0,49	24,7	18,5	4,28
M1911_4	4,74	92,4	58,7	17,3	46,6	21,3	152	10,9	16,5	4,29	0,31	0,55	0,67	262	0,48	27,6	20,7	3,92

**INFORME DE LABORATORIO N° 14/0020****Hoja 11 de 13**

- Análisis semicuantitativo por Difracción de Rayos X(\*),

MUESTRA.	MINERALES DE LA ARCILLA		OTROS MINERALES
	CONTENIDO TOTAL	MINERALES IDENTIFICADOS	MINERALES IDENTIFICADOS
M3010_4	85%	ILLITA (45%), CAOLÍN (40%)	CUARZO (11%), FELDESPATO POTÁSICO (4%)
M3110_4	65%	ILLITA (45%), CAOLÍN (20%)	CUARZO (18%), FELDESPATO POTÁSICO (17%)
M1111_1	83%	ILLITA (83%)	FELDESPATO POTÁSICO (11%), CUARZO (6%)
M1911_3	77%	CAOLÍN (39%), ILLITA (38%)	CUARZO (16%), FELDESPATO POTÁSICO (7%)
M2111_2	57%	ILLITA (35%), CAOLÍN (22%)	FELDESPATO POTÁSICO (30%), CUARZO (13%)
M2311_3	82%	ILLITA (54%), CAOLÍN (28%)	FELDESPATO POTÁSICO (10%), CUARZO (8%)

Se adjuntan difractogramas.

## MUESTRAS DE AGUAS

- pH y conductividad Eléctrica

Muestra	pH	C.E. (μS/cm)
A-1311_1	6,82	139
A-3110_2	6,50	118
A-3110_1	6,60	187
A-2011_1	6,54	110
A-3010_1	6,38	131

- Aniones (mg/L)

Muestra	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	CN <sup>-</sup>
A-1311_1	8	4	61	0	10	25,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,01
A-3110_2	16	6	30	0	18	42,3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,01
A-3110_1	16	8	97	0	<0,5	57	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,01
A-2011_1	17	4	13	0	38	56	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,01
A-3010_1	19	3	29	0	39	64,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,01

- Cationes (mg/L)

Muestra	Na	K	Mg	Ca
A-1311_1	7	6	3	16
A-3110_2	11	8	2	10
A-3110_1	27	10	3	9
A-2011_1	12	3	3	8
A-3010_1	14	5	2	15



• **Trazas (µg/L)**

Muestra	Be	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As
A-1311_1	< 0,05	212	0,96	0,30	2,89	141	< 0,05	0,60	0,70	2,00	0,14
A-3110_2	0,07	210	1,82	0,55	2,98	213	< 0,05	0,91	0,70	3,19	0,15
A-3110_1	< 0,05	55,3	1,48	0,20	4,74	87,4	0,19	2,47	0,72	3,09	0,39
A-2011_1	0,28	1077	1,28	1,70	4,28	532	< 0,05	1,33	0,41	6,40	0,78
A-3010_1	0,35	48,5	0,56	0,33	1,20	28,2	< 0,05	4,83	0,41	9,67	0,10

Muestra	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	Th	U
A-1311_1	< 0,5	0,46	< 0,05	< 0,2	< 0,05	20,3	< 0,5	< 0,05	< 0,2	< 0,05	< 0,05
A-3110_2	< 0,5	0,34	< 0,05	< 0,2	< 0,05	24,1	< 0,5	< 0,05	0,24	< 0,05	< 0,05
A-3110_1	< 0,5	0,71	< 0,05	< 0,2	0,05	31,5	< 0,5	< 0,05	< 0,2	< 0,05	< 0,05
A-2011_1	< 0,5	< 0,2	< 0,05	< 0,2	< 0,05	24,4	< 0,5	< 0,05	0,56	0,17	0,13
A-3010_1	< 0,5	< 0,2	< 0,05	< 0,2	0,12	4,27	< 0,5	< 0,05	< 0,2	< 0,05	0,08

**MUESTRAS DE BIOPSIAS (µg/g)**

Muestra	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb	Th	U
B1-ASOKA	< 0,1	< 0,1	< 1	0,11	< 0,5	< 0,1	32,7	< 0,1	0,64	0,49	< 0,1	< 0,2	< 0,1	1,20	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1
B2-BOMBASO	< 0,1	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,5	< 0,1	26,8	< 0,1	< 0,5	0,84	< 0,1	< 0,2	< 0,1	1,25	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1


**ANEXO 1**
**INCERTIDUMBRE DEL PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS MEDIANTE FRX, PROGRAMA MAYORES, (PTE-RX-001 Ed,3)**

Las incertidumbres de los ensayos se han calculado a partir de los datos de validación de los mismos, obtenidos con materiales de referencia certificados. La incertidumbre que se expresa es una incertidumbre expandida con un factor de seguridad  $k=2$ , que da un nivel de confianza de aproximadamente 95%,

Parámetro	MCR	Valor Referencia (%)	I (%)*	Intervalo de aplicación %; I (%)*
<b>SiO<sub>2</sub></b>	DC71306	0,62	6,1	De 0,5 a 4,5 (I = 6,1) De 4,5 a 98,0 (I = 2,8)
	NBS-1B	4,92	2,39	
	SO-3C	17,74	1,10	
	DC72301	34,34	2,78	
	GBW07104	60,62	1,29	
	BCS-314	96,20	0,85	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	DC72301	0,67	11,00	De 0,5 a 15 (I = 11,85) De 15 a 62 (I = 2,88)
	BCS-372	5,35	11,85	
	GBW07104	16,17	2,30	
	BCS-309	61,10	2,88	
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	DC71036	0,20	13,86	De 0,20 a 5,0 (I = 13,86) De 5,0 a 25,00 (I = 4,03)
	BCS-309	1,51	8,39	
	DC 72301	6,90	4,03	
	GBW07105	13,40	3,38	
	DC71304	24,75	2,52	
<b>CaO</b>	DC71305	0,59	6,95	De 0,60 a 10,0 (I = 6,95) De 10,0 a 56,0 (I = 4,31)
	BCS-314	1,81	4,76	
	DC71304	9,86	6,73	
	DC71306	30,02	4,31	
	IPT-35	53,80	4,06	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	DC71305	0,30	9,10	De 0,30 a 3,0 (I = 9,10) De 3,0 a 8,0 (I = 2,16)
	BCS-309	1,92	6,11	
	DC71304	7,69	2,15	
<b>MnO</b>	BCS-372	0,026	10,97	De 0,05 a 0,80 (I = 10,97)
	GBW 07104	0,077	4,16	
	NIM-P	0,22	10,42	
	NIM-L	0,77	8,42	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	BCS-309	0,46	10,67	De 0,40 a 4,0 (I = 10,67) De 4,0 a 15,5 (I = 2,37)
	DC71305	5,43	2,37	
	NIM-S	15,50	2,35	
<b>MgO</b>	NIM-S	0,46	8,53	De 0,50 a 5,00 (I = 8,53) De 5,0 a 50,0 (I = 3,88)
	DC71304	5,25	3,88	
	DC71306	21,80	2,16	
	SO-3C	50,02	2,49	
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	DC71305	0,045	10,75	De 0,045 a 0,20 (I = 10,75) De 0,20 a 1,0 (I = 3,18)
	GBW07104	0,24	3,18	
	GBW07105	0,95	2,94	

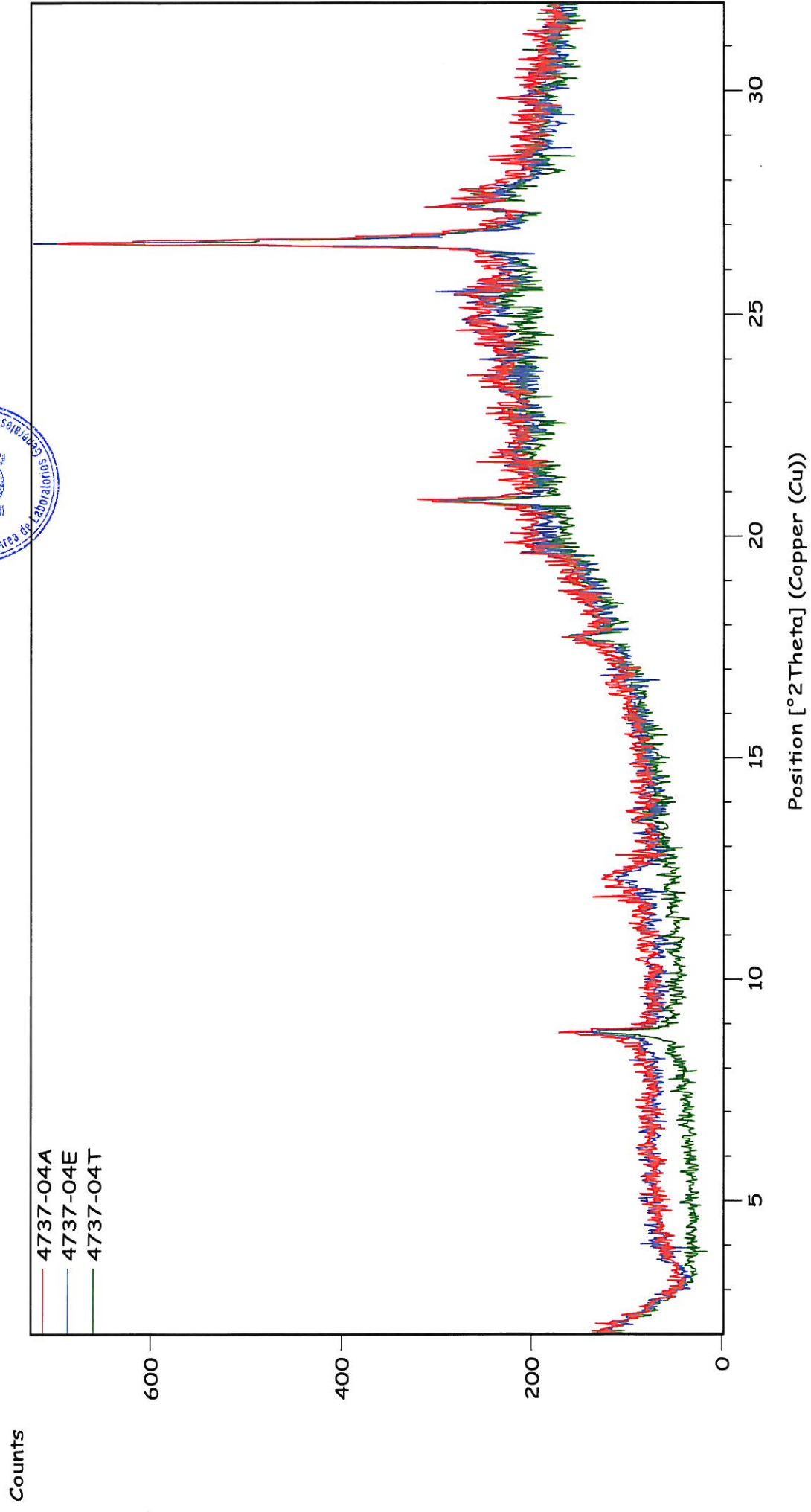
\* Incertidumbre relativa







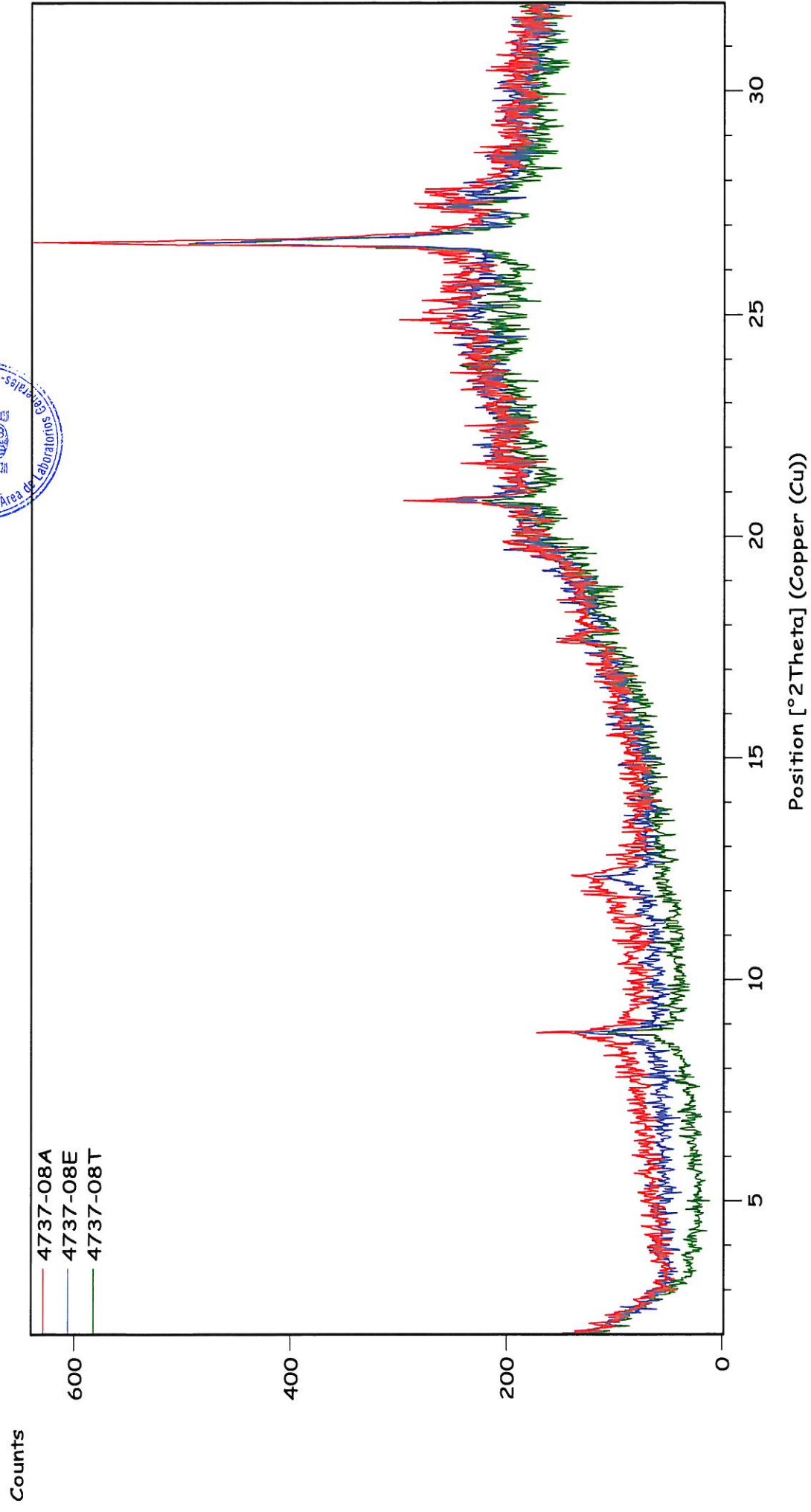










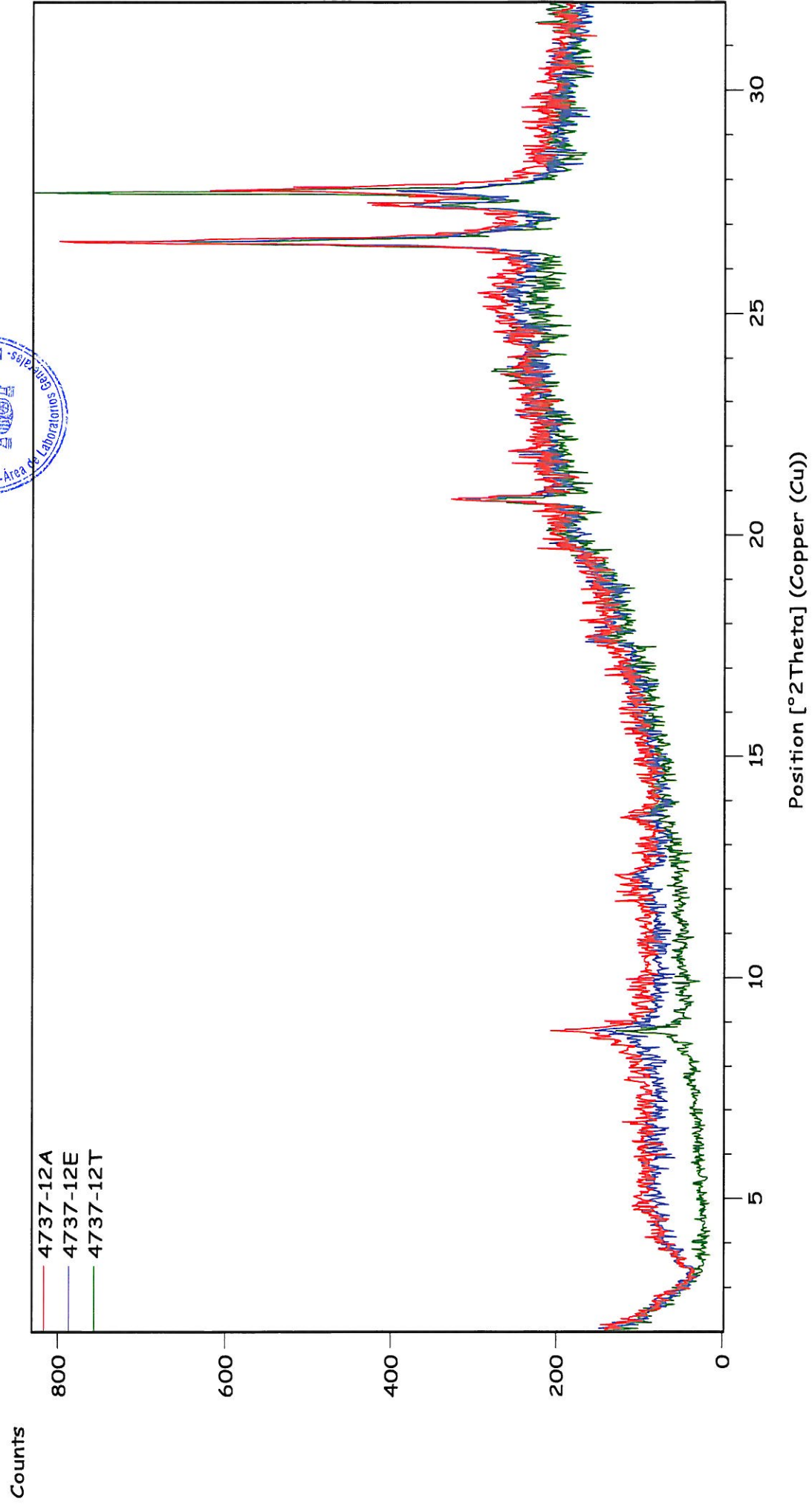








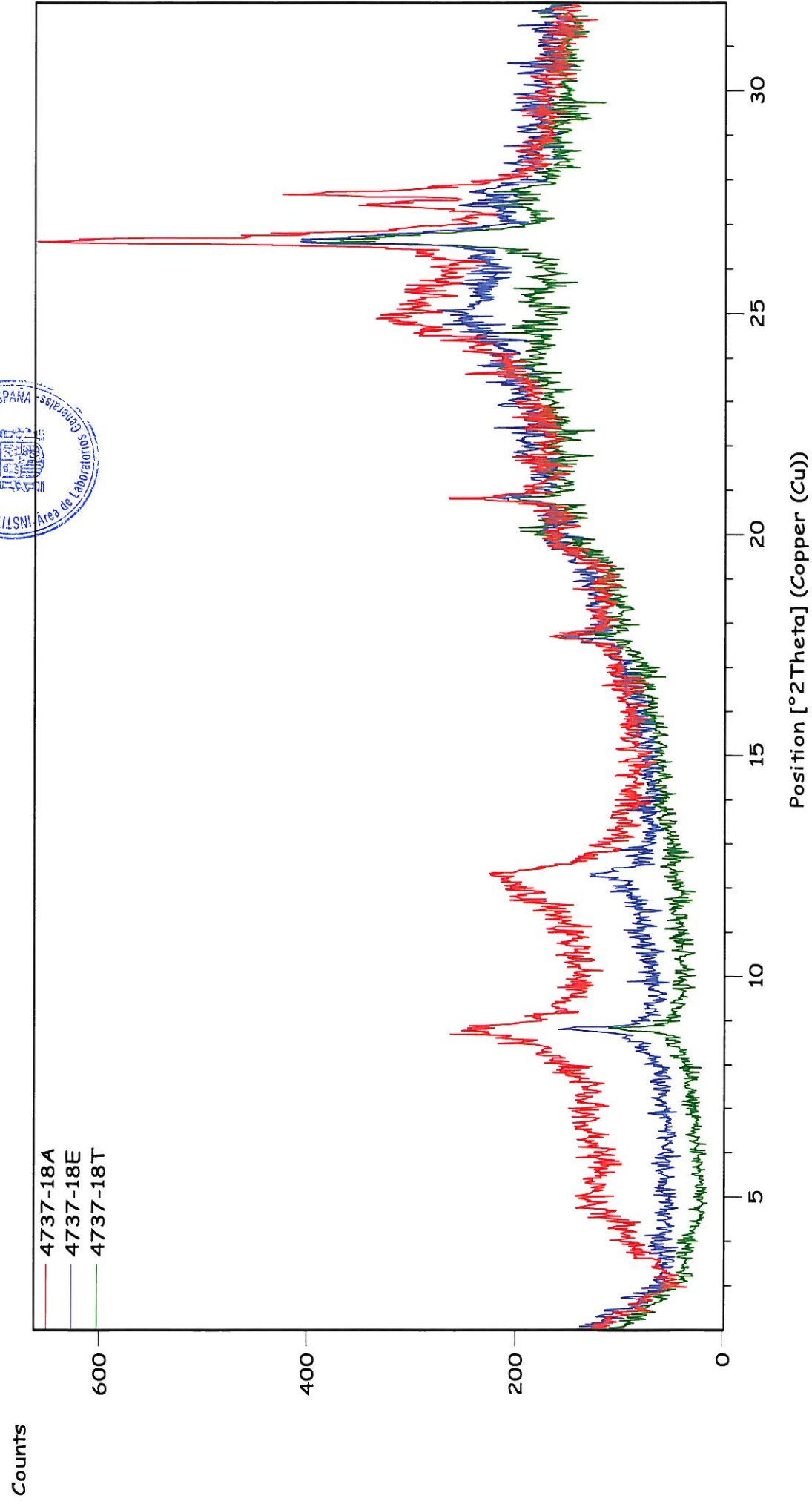




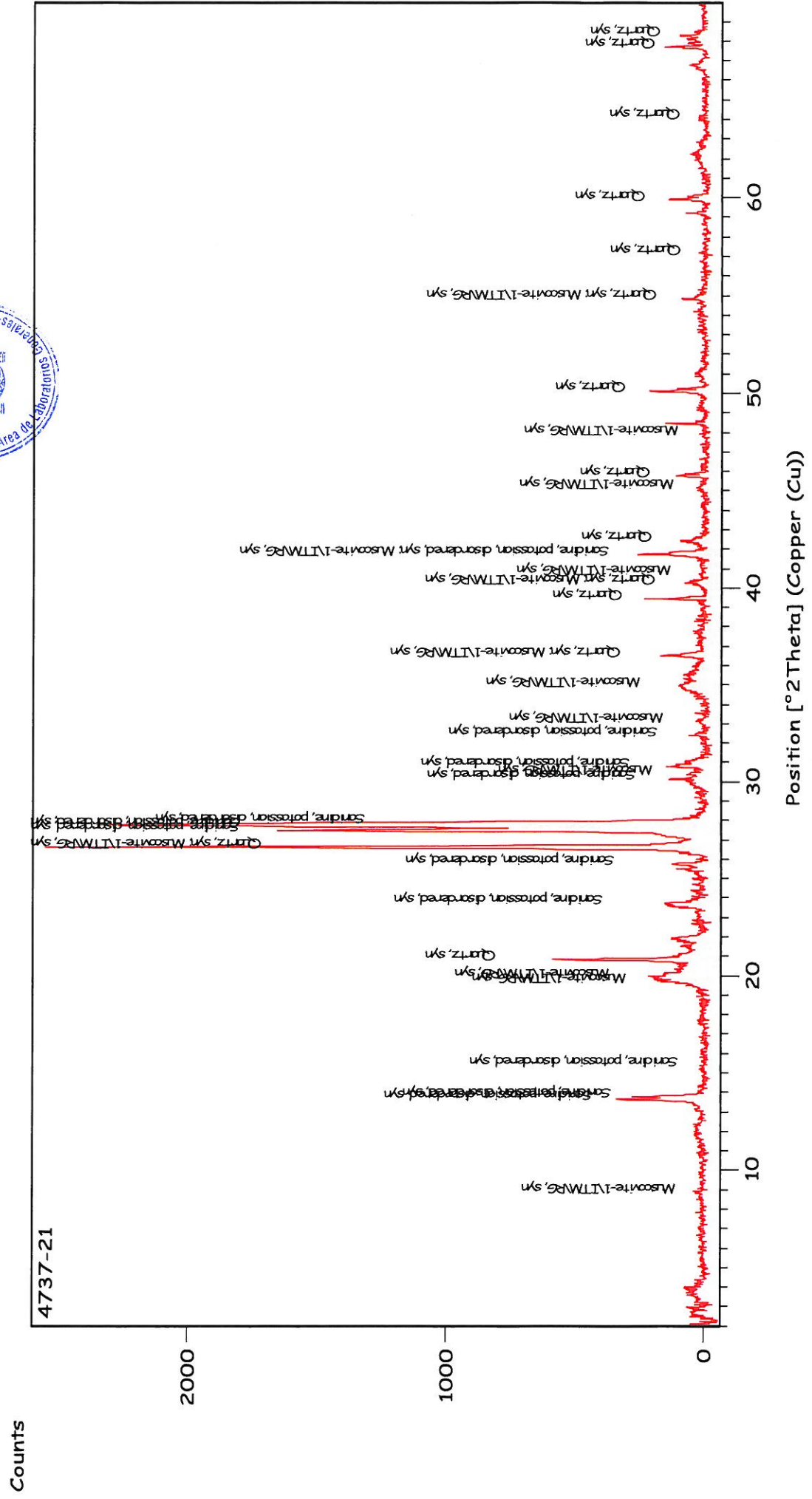






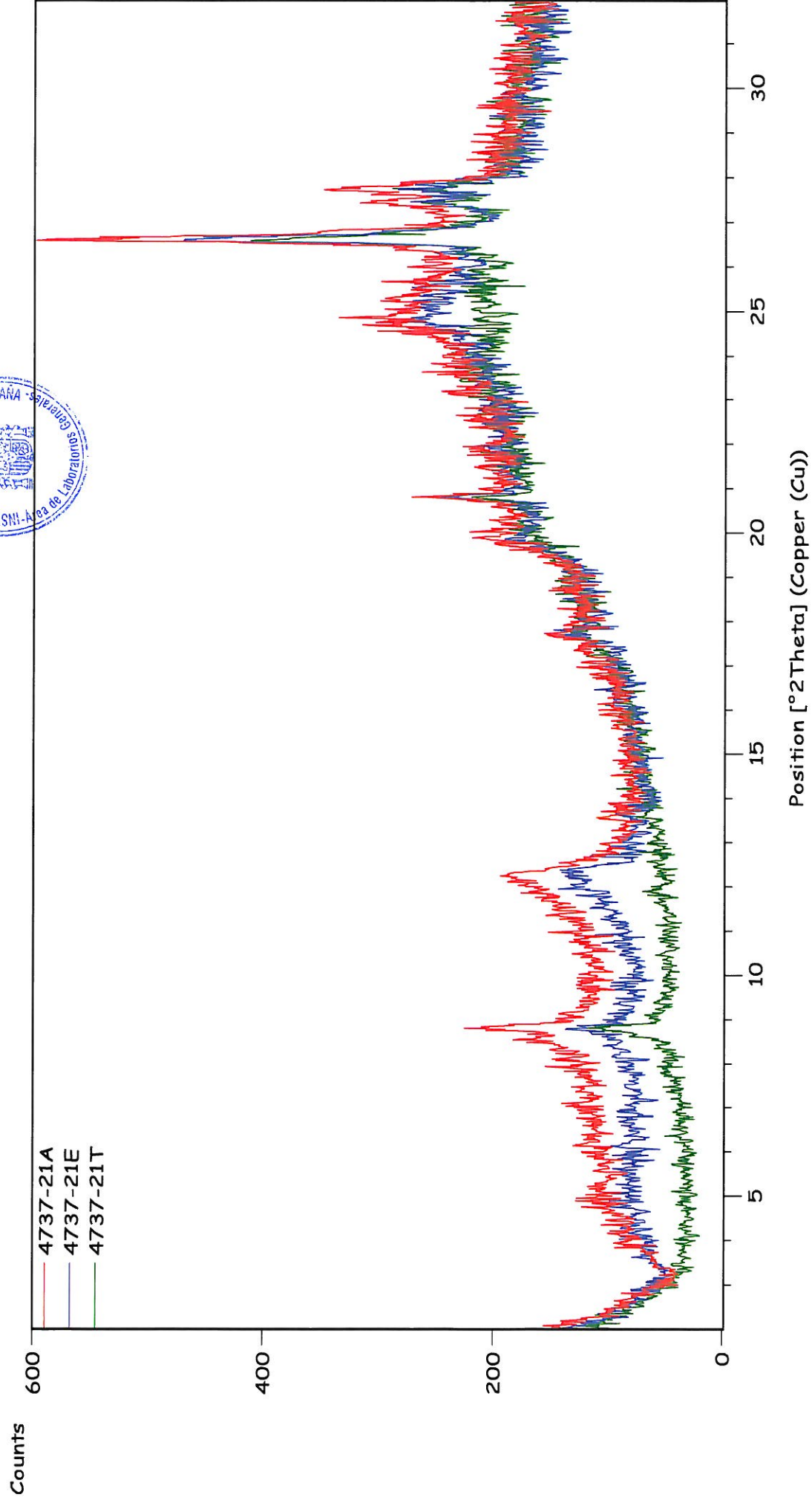




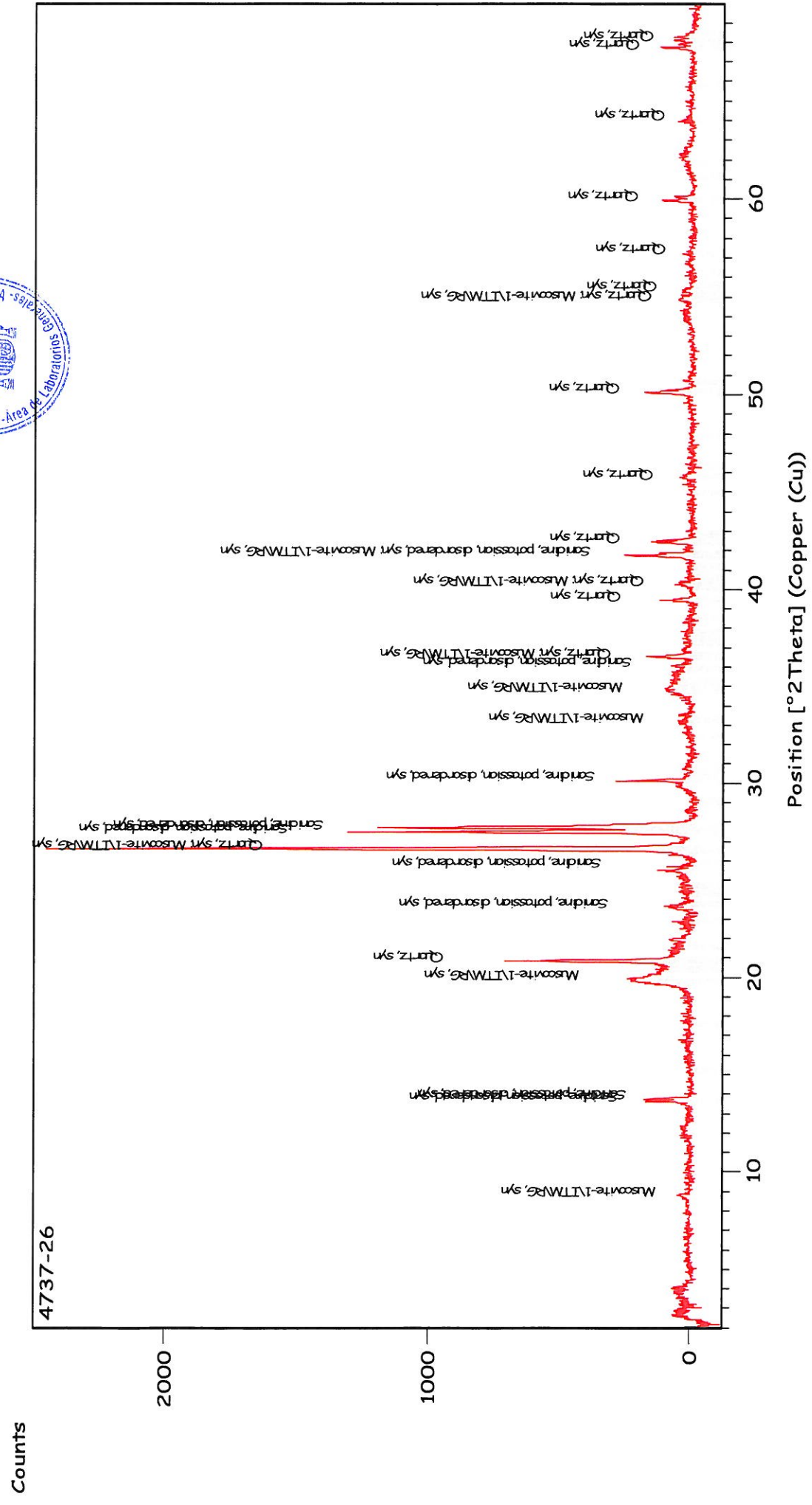




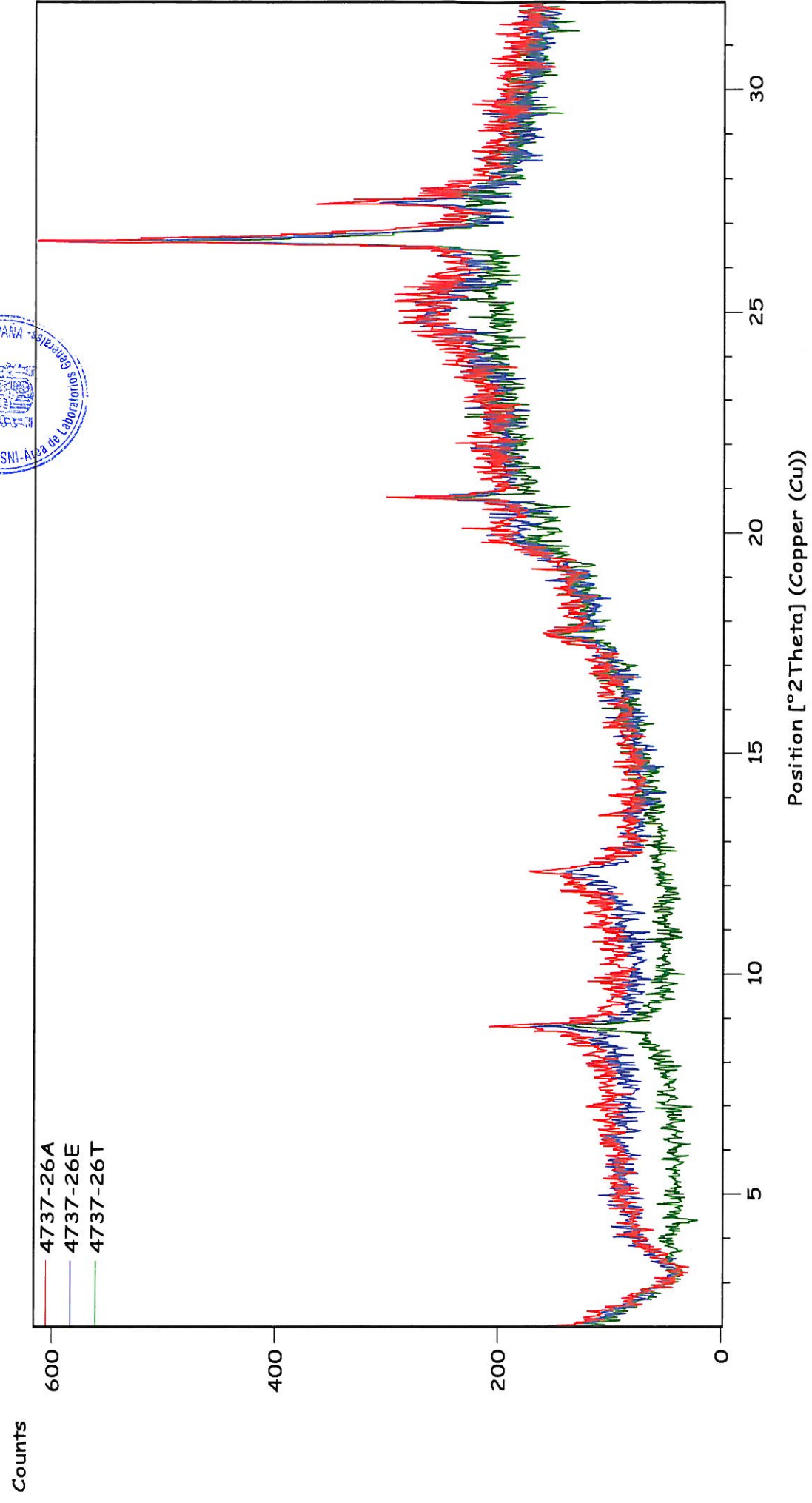


















38°45'E

473

474

475

476

477

478

479

480000mE

481

482

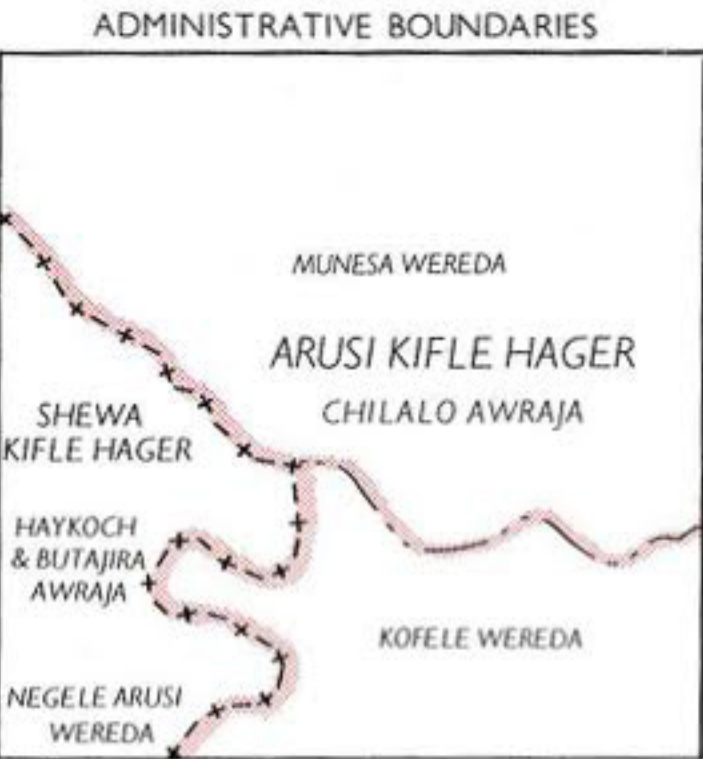
483

484

485

38°50'





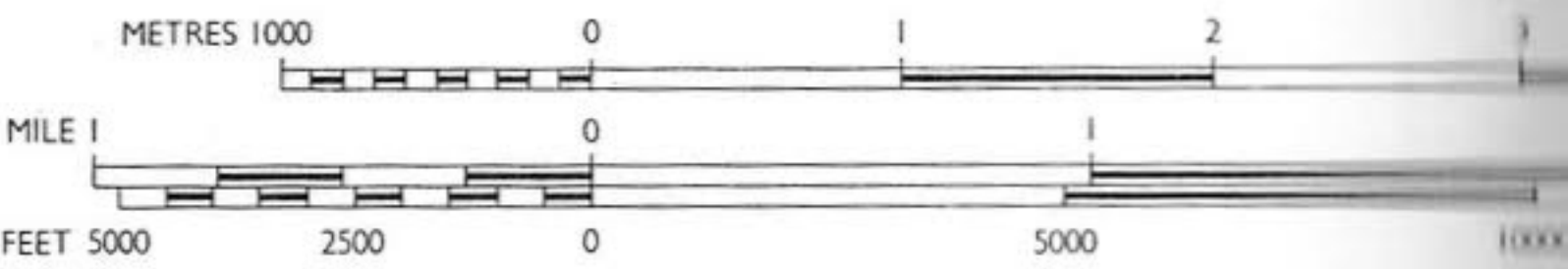
INDEX TO ADJOINING SHEETS

0738 B3 BULBULA	0738 B4 KERSA	0739 A3 BEKOJI
0738 D1 NEGELE ARUSI	0738 D2 DEGAGA	0739 C1 MERARO
0738 D3 SHASHEMENE	0738 D4 KOFELE	0739 C3 ASASA

PREPARED JOINTLY BY THE ETHIOPIAN GOVERNMENT'S MINISTRY OF LANDS AND SETTLEMENT (SURVEYING, MAPPING AND GEOGRAPHY INSTITUTE) AND THE BRITISH GOVERNMENT'S MINISTRY OF OVERSEAS DEVELOPMENT (DIRECTORATE OF OVERSEAS SURVEYS).

SHEET HISTORY  
Edition 1 prepared by the Directorate of Overseas Surveys, 1976.  
Field Survey Data by D.O.S.  
Air Photography by Hunting Surveys Ltd.,  
November - December 1972.  
Field Completion by S.M.G.I., November 1975.

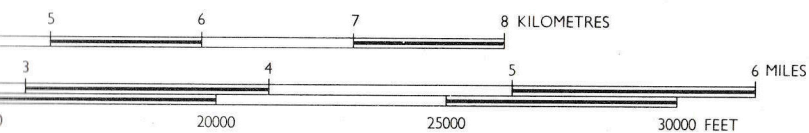
Series ETH 4 (DOS 450)  
Sheet 0738 D2  
Edition 1 SMGI/DOS 1976



Town or area with permanent buildings including public buildings		Boundary - International	
Tukul Settlement		- Kifle Hager	
Tukul or other small building		- Awraja	
Road - Asphalt Surface		- Wereda	
- Loose Surface		- National Park Reserve	
- Dry Weather, with Kilometre Stone		Trigonometrical Station - Primary, Secondary, Other	
Trail		International Boundary Pillar	
Cut Line		Spot Height (Surveyed)	
Railway, Station, Level Crossing		- (Photogrammetric)	
- Light		Contours (V.I. 20m) Depression	
Airport		- Supplementary (V.I. 10m)	
Airfield (Asphalt)		Air Photo Principal Point with Film No.	
Airstrip (Grass)		Watercourse, Waterfall, Rapids, Dam	
Telegraph or Telephone Line		- (Wide): Waterfall, Rapids	
- " " " " along Road or Trail		- disappearing, indefinite	
Power Line		Well, Spring, Waterhole, Water Tank	
Antiquity, Ruin		Mill, Lighthouse	
Site of Battle, Mineral Working		School, Hospital or Clinic	
Mosque, Church		Cemetery: Christian, Moslem	

Copies of this map can be obtained from the Surveying, Mapping and Geo





ABBREVIATIONS

A Awraja Office  
CtH Court House  
EHA Ethiopian Highways Authority Permanent Camp  
H Hotel  
KH Kifle Hager Office  
Mkt Market  
PO Post Office  
PP Police Post  
PS Police Station  
T Telephone  
Tg Telegraph

PLANTATIONS

C Coffee  
Cn Cotton  
E Eucalyptus  
O Oranges  
S Sisal  
Su Sugar  
Te Tea  
V Vineyard (Grapes)

In areas of high vegetation the accuracy of contours relative to the underlying ground surface cannot be guaranteed.

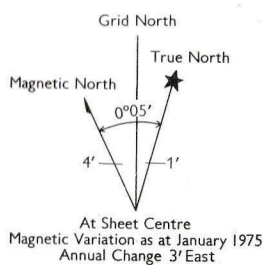
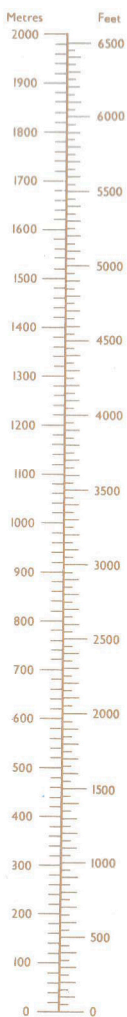
Perennial watercourses are shown thus **AKAKI**  
All other watercourses are seasonal and are shown thus **Awara**

**CAUTION:**  
Passage by motor transport along some of the roads and trails shown on this map may not always be possible or permitted.

For reference purposes, prefix all BNP, BNS and BNT trigonometrical stations on this map with 0738.

**THE DELINEATION OF INTERNATIONAL AND OTHER BOUNDARIES ON THIS MAP MUST NOT BE CONSIDERED AUTHORITATIVE**

CONVERSION TABLE



Grid:-	U.T.M. Zone 37
Projection:-	Transverse Mercator
Spheroid:-	Clarke 1880 (Modified)
Unit of Measurement:-	Metre
Meridian of Origin:-	39°00' East of Greenwich
Latitude of Origin:-	Equator
Scale Factor at Origin:-	0.9996
False Co-ords of Origin:-	500,000m Easting
	Nil Northing
Datum:-	Adindan (30th Arc)

The number lines indicate the 1,000 metre Universal Transverse Mercator Grid Zone 37, Clarke 1880 (Modified) Spheroid. The last three digits of the number are omitted.		
GRID ZONE DESIGNATION  <b>37N</b>	TO GIVE A GRID REFERENCE ON THIS SHEET	
100,000 M. SQ. IDENTIFICATION   <b>DU</b> <b>500</b>	<b>LETTERS</b> <b>FIGURES</b>	See 100,000m <b>SQ. IDENTIFICATION</b> Pay no attention to the smaller co-ordinate figures in the margins. They are for finding full co-ordinates: viz <b>300000m</b>
	<b>PAY ATTENTION TO LARGER MARGINAL FIGURES AND TO THOSE PRINTED ON THE FACE OF THE MAP: VIZ 300</b>	
	<b>POINT</b>	<b>LETTERS</b>
	<b>EAST</b>	
	<b>NORTH</b>	
<b>REFERENCE</b>		
Unit..... Metre	Square..... 1000m	Reference to nearest..... 100m





## Revisión

# Podoconiosis: enfermedad olvidada por la sociedad y la comunidad médica



Laura Prieto-Pérez<sup>a,\*</sup>, Juan José Soriano Cea<sup>b</sup> y Miguel Górgolas Hernández-Mora<sup>a</sup>

<sup>a</sup> División de Enfermedades Infecciosas, Instituto de Investigación Sanitaria Fundación Jiménez Díaz-Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

<sup>b</sup> Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, España

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Historia del artículo:

Recibido el 2 de noviembre de 2014

Aceptado el 9 de diciembre de 2014

On-line el 25 de febrero de 2015

## Palabras clave:

Elefantiasis

Linfedema

Olvidada

Suelo volcánico

Prevenible

## RESUMEN

La podoconiosis, o «elefantiasis endémica no filariásica», es una enfermedad geoquímica que produce un tipo de linfedema de los miembros inferiores relacionado directamente con caminar descalzo por terrenos de origen volcánico en áreas con un alto índice pluviométrico anual. Posee una distribución geográfica concreta, afecta aproximadamente a un 5% de la población de las áreas endémicas, es debilitadora y desfigurante y con frecuencia lleva a la marginación social de los que la sufren. Es una enfermedad prevenible y, una vez establecida, puede mejorar con medidas terapéuticas sencillas.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

## Podoconiosis, a society and medical community neglected disease

## ABSTRACT

Podoconiosis, *mossy foot* or endemic non-filarial elephantiasis, is a geochemical disease that causes lower limb lymphedema; it is directly related to walking barefoot over soils of volcanic origin, in areas with a high pluviometric annual index. It has a specific geographical distribution, affecting around 5% population in areas where it is endemic. It is debilitating and disfiguring disease, which frequently leads to social margination. Podoconiosis is totally preventable and, once a diagnosis is established, it may improve with simple therapeutic measures.

© 2015 Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

## Introducción

La podoconiosis, cuya historia se remonta a 20 siglos antes de nuestra era, fue confundida durante mucho tiempo con las elefantiasis leprosa y filariásica<sup>1–4</sup>. La primera observación que la relacionó con el terreno se debe al médico guatemalteco Rodolfo Robles (1878-1939), quien en 1938 publicó sus trabajos sobre 150 pacientes diagnosticados de enfermedad de Hansen y albergados en la leprosería de la capital de Guatemala. Observó que los pacientes procedían de las tierras altas de ese país volcánico y que todos andaban descalzos, y escribió: «afecta a personas que viven entre los 1.000 y los 2.000 m sobre el nivel del

mar... aparece entre los 5 y los 20 años de edad como una mancha roja en el tercio inferior de la pierna con calor local y edema del pie... con el tiempo, los dedos también se hinchan, así como las plantas de los pies, de forma que la punta de los dedos no toca el suelo y la piel se vuelve gruesa, arrugada y dura». En todos los casos la bacteriología y las pruebas para demostrar filarias fueron negativas y la denominó «seudolepra» (*punudos* en la terminología indígena)<sup>5</sup>.

Asimismo, entre 1934 y 1956, Loewenthal en Uganda, Macfie en Etiopía, Clark en Kenia y Jordan en Tanzania, describieron casos de elefantiasis endémica no filariásica ni leprosa en tierras altas de esos países del este de África<sup>6–9</sup>. A su vez, Oomen, en 1969, estudió 6.770 casos de elefantiasis en diferentes áreas de Etiopía, confirmando la observación de Robles de que la mayoría de los pacientes vivían entre 1.000 y 2.000 m sobre el nivel del mar, y que poseía una prevalencia, según las zonas, entre el 2,7% y el 8,8%<sup>10</sup>.

\* Autora para correspondencia.

Correo electrónico: lprieto@fjd.es (L. Prieto-Pérez).

En los años 70, el cirujano británico Ernest W. Price estudió los factores ambientales y sociales en 800 pacientes de Etiopía. Descartó su etiología filariásica, confirmó que se localizaba en áreas volcánicas, comprobó que los ganglios linfáticos regionales de los pacientes contenían micropartículas minerales y describió la sintomatología y estadios evolutivos de esta enfermedad a la que bautizó con el nombre de *podoconiosis* (gr. *πόδος* –*podos*: pie; *κόνεω* –*coneos*: polvo, arena). Observó el edema subendotelial, endolinfangitis, collagenización y obstrucción de la luz de esos vasos en los miembros inferiores y comprobó la presencia de silicatos y óxidos de hierro y aluminio en el seno de los macrófagos de los ganglios femorales en los enfermos<sup>1,4,11-14</sup>.

## Geología, epidemiología y socioeconomía

La podoconiosis es una enfermedad geoquímica y su distribución geográfica guarda una estrecha relación con terrenos formados por la desintegración de rocas volcánicas basálticas a lo largo del tiempo. Por acción de factores ambientales (altitud superior a los 1.500 m sobre el nivel del mar, una temperatura media de 20 °C con bajas temperaturas nocturnas y un régimen pluviométrico superior a 1.000 mm/año<sup>15</sup>, similar al de una zona húmeda del norte de España), las lavas acaban fraccionándose en partículas de menos de 2 µm de diámetro compuestas de cuarzo, arcillas (silicatos), hidróxidos de metales y minerales como berilio y circonio, sustancias involucradas en la formación de granulomas en vasos y ganglios linfáticos. Esas micropartículas de arcillas húmedas, blandas y pegajosas, se adhieren, se incrustan y atraviesan la piel de la planta y el dorso de los pies (sobre todo a través de los pliegues), siendo la reiteración a lo largo de los años de esos microtraumatismos, que favorecen la penetración transcutánea de las micropartículas, la causa de la enfermedad<sup>2,16-19</sup> (fig. 1).

Existen áreas endémicas en el África tropical (Sudán, Etiopía, Kenia, Uganda, Tanzania, Ruanda, Burundi, Camerún, Guinea Ecuatorial e islas de santo Tomé y Príncipe, Bioko y Cabo Verde), Centro y Sudamérica y norte de la India, y se calcula que la padecen al menos 4 millones de personas, uno de ellos en Etiopía y medio millón en Camerún<sup>1,2,20</sup>. Dichas áreas no suelen verse afectadas por filarias porque los insectos y artrópodos vectores no soportan las frías temperaturas nocturnas de esas tierras altas. En las áreas endémicas de Etiopía su prevalencia oscila entre el 2,8% y el 7,4%<sup>2</sup> (fig. 2).



**Figura 1.** En el medio rural, la inmensa mayoría de la población camina descalza de forma habitual o practica descalza la agricultura, factor indispensable para el desarrollo de la enfermedad.

Los síntomas suelen comenzar entre la segunda y tercera década de la vida y la mayoría de los afectados son agricultores, analfabetos y pobres, sin acceso a la higiene ni al calzado. Casi todos sufren sobreinfecciones recurrentes de la piel y el tejido celular subcutáneo de pies y piernas favorecidas por el estiramiento y las lesiones de la piel derivadas del linfedema crónico. Las infecciones pueden estar producidas por bacterias, hongos y virus, sufriendo varios episodios anuales de celulitis, linfangitis y linfadenitis agudas que imposibilitan a los pacientes para trabajar durante varias semanas cada año. Ello repercute en su economía, habiéndose calculado que solo en Etiopía el coste de esta enfermedad por la pérdida de productividad es de unos 200 millones de dólares al año<sup>21</sup>. Y a ello debe añadirse el estigma social, ya que los niños son marginados y expulsados de las escuelas, las jóvenes no se casan, a los adultos se les excluye de las reuniones sociales o religiosas y la aparición de un caso en una familia se convierte en una lacra para toda ella. Muchos de los afectados se apartan, ocultan sus miembros enfermos y evitan solicitar la ayuda médica local, por otra parte escasa<sup>22-24</sup>.

## Distribución familiar y genética

No todos los que viven o trabajan descalzos en terrenos volcánicos irritantes, ni todos los miembros de la misma familia sufren podoconiosis. Si Price ya apuntó en 1972 que debía existir una cierta susceptibilidad genética<sup>4</sup>, no fue hasta 2007 cuando un estudio realizado en Etiopía en varias generaciones de afectados demostró que los hermanos de un paciente con podoconiosis tienen un riesgo de sufrirla 5 veces mayor que la población general<sup>25</sup>. Además, un estudio genético realizado en ese país demostró que la susceptibilidad para esta enfermedad se encuentra en variantes del locus del HLA en el cromosoma 6. Así, en estos pacientes se han hallado polimorfismos de un nucleótido localizado en o próximo a los genes del antígeno de histocompatibilidad de clase II (alelos HLA-DQA1, HLA-DQB1 y HLA-DRB1) con una frecuencia significativamente mayor que en los controles sanos de la misma región, lo que muestra que la base de su patogenia es una inflamación mediada por células T<sup>26</sup>. Estos alelos pueden desempeñar un papel en la presentación de antígeno a las células T, induciendo la respuesta inmune y el desarrollo de la enfermedad como respuesta a un antígeno o mineral del suelo aún no definido.

## Patogenia y anatomía patológica

Considerando los factores geológicos asociados, su sintomatología y el demostrado papel protector del calzado, se deduce que la patogenia de esta enfermedad obedece a una respuesta inflamatoria inducida por micropartículas de minerales sobre una base de predisposición genética. Tras atravesar la piel, esas micro- o nanopartículas son captadas por macrófagos en los linfáticos, con la consiguiente liberación de citocinas inflamatorias y radicales libres de oxígeno en su pared que conducen a la fibrosis y obstrucción de esos vasos<sup>16,17,19,27-30</sup>. Apoya esta teoría el hecho de que se hayan encontrado en suero concentraciones elevadas de TGFβ1, un marcador del estrés oxidativo<sup>31</sup>. Asimismo, la microscopia electrónica ha demostrado la presencia de esas micropartículas y granulomas por cuerpo extraño en biopsias ganglionares de los pacientes<sup>16,32</sup>.

La histopatología de la piel muestra los siguientes hallazgos: hiperqueratosis compacta con hiperplasia del epitelio, expansión fibrosa de la dermis y linfangiectasias evidentes; existe fibrosis alrededor de las glándulas sudoríparas así como un llamativo infiltrado linfoplasmocitario perivascular. Estos hallazgos, la esclerosis de la dermis junto con la fibrosis y dilatación de los





**Figura 2.** Mapa de distribución mundial de podoconiosis.

El permiso para la eventual publicación de la figura 2 ha sido concedido por *PLoS Neglected Tropical Diseases*. Fuente: Deribe et al.<sup>33</sup>.

vasos linfáticos, explicarían tanto la paquidermia como la irreversibilidad de las lesiones<sup>34</sup> (fig. 3).

### Clínica

La enfermedad suele comenzar en la segunda década de la vida, sin embargo, hay casos descritos en niños de corta edad con pocos años de exposición al suelo; en nuestra experiencia el menor afectado tenía 8 años y se han encontrado pacientes de 12 años con lesiones de aspecto crónico y de larga evolución. Antes de que aparezca el linfedema existe un período prodrómico que puede durar meses o incluso años con prurito y sensación de quemazón en uno de los pies, que se extienden posteriormente al tobillo y tercio inferior de la pierna y se acompañan de fiebre y aumento de la sensibilidad en los ganglios linfáticos femorales<sup>35</sup>. Estos episodios suelen resolverse tras unos días de reposo y la elevación de la extremidad afectada, para repetirse de manera irregular a lo largo del tiempo. El rascado frecuente produce la liquenificación o engrosamiento reactivo de la piel y la rotura de la barrera epidérmica con celulitis o linfangitis recurrentes, pudiendo pasar meses antes de que aparezcan los mismos síntomas en el otro pie (fig. 4).

Tras esa fase prodrómica, la podoconiosis suele evolucionar en 5 etapas. 1.<sup>a</sup>: Aparece edema blando solo en el pie y por debajo del tobillo, que es reversible durante el descanso nocturno; el edema en el tercio anterior de la planta del pie causa la separación de los dedos, altera su morfología (adoptando un aspecto similar al de las salchichas) y su porción distal deja de contactar con el suelo; 2.<sup>a</sup>: el edema ya no desaparece por completo durante la noche y, de existir, aparecen nódulos de hiperqueratosis con surcos profundos solo por debajo del tobillo; 3.<sup>a</sup>: el edema es persistente y solo por debajo de la rodilla, pero los nódulos o tumoraciones ya sobrepasan el tobillo; la piel en el dorso y lateral de los pies semeja un musgo firme con una distribución en zapatilla; 4.<sup>a</sup>: el edema, además de ser persistente, ya sobrepasa la rodilla y hay signos de linfangiectasia en el muslo; y 5.<sup>a</sup>:

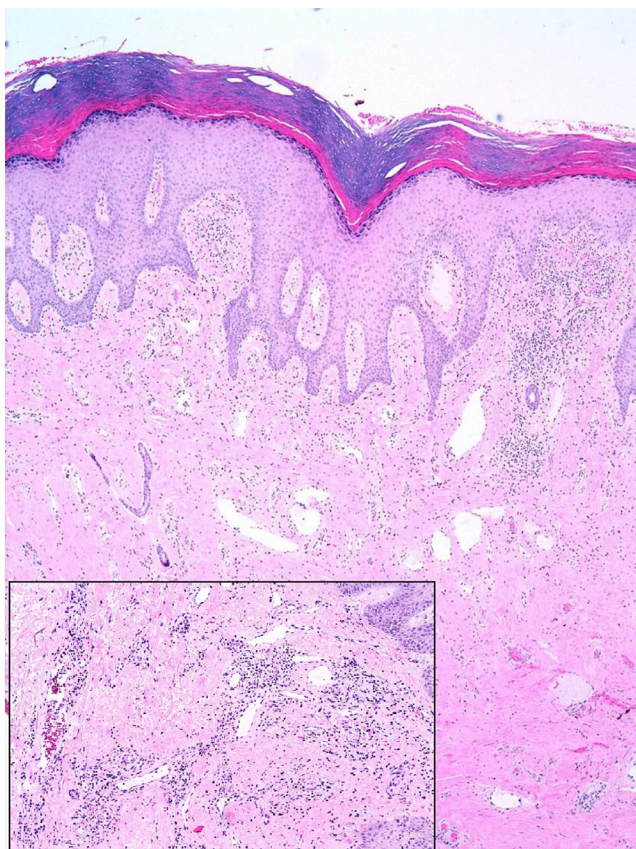
se produce la práctica anquilosis de las articulaciones del tobillo y del pie<sup>36</sup>.

En todas las fases se conserva la sensibilidad y puede observarse linforrea a través de las grietas de la piel, con la consiguiente maceración y episodios repetidos de celulitis y linfangitis debido a sobreinfección bacteriana y/o fúngica. El 97% de los pacientes sufren un promedio de 5 episodios de linfangitis aguda febril a lo largo del año, viéndose obligados a guardar reposo. A veces, se producen profundas cicatrices retráctiles en el dorso del pie con áreas de despigmentación y reabsorción de los dedos, lo que se puede confundir con la lepra<sup>37</sup>.

### Diagnóstico y diagnóstico diferencial

La podoconiosis tiene un diagnóstico sencillo que se basa en datos epidemiológicos: las características geológicas y de altitud sobre el nivel del mar de las áreas endémicas, habitualmente sin filarias; clínicos: por la forma de comienzo de los síntomas y su asimetría, junto con la forma de progresión del linfedema desde su inicio en uno de los pies y el tercio distal de la pierna ipsilateral hasta la rodilla, habitualmente sin sobrepasarla y sin afectación de los miembros superiores; y dermatológicos: por la hiperqueratosis dura y nodular y el incremento lento y progresivo del perímetro de la pierna, rara vez con afectación de la ingle.

Su diagnóstico diferencial se plantea sobre todo con: 1) el linfedema leproso (donde suele haber otras lesiones de esa enfermedad como alopecia, áreas de despigmentación, nervios periféricos engrosados, pérdida de la sensibilidad, artropatías y úlceras neuropáticas)<sup>38</sup>; y 2) la elefantiasis filariásica, en la que el linfedema, aunque habitualmente es también unilateral, suele sobrepasar la rodilla y con frecuencia se afectan los ganglios inguinales; por otra parte, en los casos dudosos se puede recurrir a la detección rápida del antígeno de la filaria<sup>39</sup>; es importante recalcar que la filariasis linfática se da en áreas por debajo de los 1.000 m de altitud, al contrario que la podoconiosis. Asimismo, se



**Figura 3.** Hematoxilina-eosina. (10x): Apréciase la hiperplasia epidérmica con importante esclerosis de la dermis y proliferación y ectasias linfáticas. Detalle (40x): infiltrado linfoplasmocitario perivascular. Las biopsias fueron realizadas en 2 pacientes que previamente se habían ofrecido voluntarios. La información acerca del procedimiento fue aportada de forma verbal, debido a la elevada tasa de analfabetismo, dando ambos pacientes su consentimiento. Con el fin de evitar complicaciones infecciosas en el medio rural, fueron ingresados durante una semana en el hospital, extremando las medidas de asepsia e higiene local. No hubo complicaciones y las heridas curaron sin incidencias.

debe plantear el diagnóstico diferencial con: 3) el edema por insuficiencia venosa crónica, y 4) con el *micetoma pedis*, enfermedad infecciosa, granulomatosa y crónica de la piel y el tejido celular subcutáneo, causada por bacterias filamentosas como actinomices (actinomicetoma), u hongos (eumicetoma), habitualmente saprofitos. Es endémica entre los 30° N y 15° al sur del Ecuador («cinturón del micetoma») y afecta sobre todo a varones que trabajan descalzos y pisan espinas de acacias o cactus. Es indolora, suele afectar a los huesos y cursa con tumefacción, formación de nódulos y abscesos que se fistulizan y sobreinfectan, con graves secuelas funcionales y precisando a veces la amputación del pie<sup>40</sup>.

### Prevención y tratamiento

La prevención primaria pasa por la escuela y la educación, con insistencia en la higiene, la necesidad del uso del calzado y eliminar la idea, fuertemente arraigada en la población, de que la podoconiosis se debe a una «maldición» haciendo ver que se debe al hecho de caminar descalzo por un terreno con unas características determinadas. Debe tenerse presente la geografía, el analfabetismo y la escasez de agua potable a la hora de intentar garantizar la higiene y cuidados de los pies de una población habitualmente numerosa y muy pobre, entre la cual los recursos económicos son tan limitados que se dedican en su práctica



**Figura 4.** Paciente con podoconiosis en estadio III; nótese el aspecto característico de la piel, similar al musgo; así como el edema distal y la presencia de heridas, que facilitan la sobreinfección bacteriana y los episodios agudos de linfangioadenitis.

totalidad a la subsistencia alimentaria, siendo un lujo el poder conseguir calzado para todos los miembros de la unidad familiar.

Los pacientes deben ser enseñados a lavarse los pies a diario con agua, jabón y una solución antiséptica durante 10 min y aclarárselos a continuación con agua limpia. En cuanto al calzado, debe ser recio y cubrir también el dorso del pie, aconsejándose que los agricultores lleven zapatos o botas robustas. Asimismo, los calcetines y la cobertura del suelo de las chozas con tablas de madera o baldosas completan las medidas primarias de prevención.

La prevención secundaria y el tratamiento, además de la concienciación de los pacientes en el autocuidado, comprende: a) el lavado diario de los pies con agua, jabón y lejía diluida, solución antiséptica y emolientes (vaselina, urea); b) la elevación de los pies por encima de la cadera durante la noche; c) la realización de ejercicios apropiados para el movimiento del tobillo y pies; d) el vendaje compresivo de los pies y tobillos edematosos, una medida esta que limita o reduce la progresión del edema y que el paciente debe aprender a aplicarse; e) masaje diario; f) drenaje linfático, y g) la fabricación de un calzado apropiado hasta que el pie quepa en zapatos convencionales. La cirugía, con extirpación de las tumoraciones más duras y prominentes se reserva para casos seleccionados<sup>41,42</sup>.

Junto a ello, es necesario inculcar la mentalización para seguir el tratamiento y la rehabilitación para que el paciente recupere el sentido de pertenencia a un pueblo, realice algún trabajo apropiado que le permita lograr recursos para él y su familia, y para que, por último, recupere la autoestima y deje de considerarse un «apestado» para su familia y la comunidad<sup>43-45</sup>.

Es importante implicar a los sanitarios (y no sanitarios) locales en las medidas de prevención y tratamiento con el fin de minimizar el impacto personal y social de esta enfermedad. La Organización Mundial de la Salud ha incluido desde 2011 la podoconiosis como una de las enfermedades desatendidas u olvidadas. En zonas endémicas, como Etiopía, trabajan diversas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales: *Action on Podoconiosis Association* (Wolaita, Gamo Gofa and Dawro Zones, SNNPR); *Catholic Church, Nekemte & Wollega Dioceses* (Quelem, West and East Wollega Zones, Oromía); *Internacional Orthodox Christian Charities*



(East Gojam Zone, Amhara); *Nekane Yesus-Ethiopian Evangelical Church* (West Wollega and Illubabor Zones, Oromía); *Mossy Foot Project* (Wolaita Zone, SNNPR), *OpenWay* (Sidaza Zone, SNNPR) y los centros hospitalarios como el Hospital Rural General de Gambo.

## Conclusiones

La podoconiosis es, en definitiva, una enfermedad olvidada y muy poco conocida por la comunidad médica internacional, pero con unas consecuencias clínicas y sociales de gran impacto. La prevención es tan simple como el empleo de calzado desde la infancia, pero la realidad es que la población afecta no puede permitirse el coste de zapatos para todos los miembros de la familia.

En los comienzos del siglo XXI nuestra obligación es mostrar los efectos de la enfermedad y convencer a los agentes sociales y económicos que colaboren en la erradicación de la misma. Países como el nuestro, con una potentísima industria del calzado, deberíamos saber y poder aportar algo más para este fin.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Agradecimientos

A Jesús Reyes y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) por su amable y generosa colaboración en el análisis de las muestras de los suelos de la Oromía (Etiopía); al Dr. Fortes del Servicio de Anatomía Patológica de la Fundación Jiménez Díaz y al Dr. Zarco Olivo del Servicio de Dermatología del Hospital 12 de Octubre, por la realización y descripción detallada de la histopatología de las biopsias cutáneas; a los Dres. Pérez Tanoira, Cabello Úbeda y Ramos Rincón, por su apoyo y trabajo incansable. También al Dr. Francisco Reyes, director médico del Hospital General Rural de Gambo, por su cálida acogida y facilitar la infraestructura necesaria para el estudio de la podoconiosis sobre el terreno, y al Dr. Abraham Tesfamarian y la Dra. Seble Balcha por su inestimable ayuda en la detección de casos. Gratitud asimismo a los pacientes con podoconiosis y al personal del Hospital General Rural de Gambo; por supuesto al Máster de Medicina Tropical y Salud Internacional de la Universidad Autónoma de Madrid y a la *Mossy Foot Association* de Wolaita Zone (Etiopía).

## Bibliografía

- Price EW. The elephantiasis story. *Trop Dis Bull.* 1984;81:1–12.
- Davey G, Tekola F, Newport MJ. Podoconiosis: Non-infectious geochemical elephantiasis. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2007;101:1175–80.
- Destas K, Ashine M, Davey G. Prevalence of podoconiosis (endemic non-filarial elephantiasis) in Wolaita, southern Ethiopia. *Trop Doctor.* 2003;33:217–20.
- Price EW. Podoconiosis: Non-filarial elephantiasis. Oxford Medical Publications. Oxford, UK: Oxford University Press; 1991.
- Robles R. La pseudo-lèpre ou « punudos », maladie non classée qui sévit au Guatemala. *Bull Acad Natl Med.* 1927;47:776–8.
- Loewental LJA. On the probable inclusion of several diseases in the title «mossy foot». *Ann Trop Med Parasitol.* 1934;28:47–62.
- Macfie JWS. Mossy foot in northern Ethiopia. *Ann Trop Med Parasitol.* 1936;30:99–103.
- Clark M. Lymphostatic verrucosis in Fort Hall district of Kenya. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1948;42:287–90.
- Jordan P, Trant MH, Laurie W. Non bancroftian elephantiasis in Tanganika. *Br Med J.* 1956;1:209–10.
- Oomen AP. Studies on elephantiasis of the legs in Ethiopia. *Trop Geograph Med.* 1969;21:236–53.
- Price EW. The pathology of non-filarial elephantiasis of the lower legs. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1972;66:150–9.
- Heather CJ, Price EW. Non-filarial in Ethiopia: An analytical study of inorganic material in lymph nodes. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1972;66:450–8.
- Price EW. The association of endemic elephantiasis of the lower legs in East Africa with soil derived from volcanic rocks. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1976;70:288–95.
- Price EW, Bailey D. Environmental factors in the etiology of endemic elephantiasis of the lower legs in tropical Africa. *Trop Geograph Med.* 1984;36:1–5.
- Deribe K, Brooker SJ, Pullan RL, Hailu A, Enquselassie F, Reithinger R, et al. Spatial distribution of podoconiosis in relation to environmental factors in Ethiopia: A historical review. *PLoS One.* 2013;8:e68330. doi:10.1371/journal.pone.0068330.
- Fyfe NCM, Price EW. The effects of silica on lymph nodes and vessels—a possible mechanism in the pathogenesis of non-filarial endemic elephantiasis. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 1985;79:645–51.
- Abrahams PW. Soils: their implications to human health. *Sci Total Environ.* 2002;291:1–32.
- Frommel D, Ayrançi B, Pfeifer HR, Sanchez A, Frommel A, Mengistu G. Podoconiosis in the Ethiopian Rift Valley. Role of the beryllium and zirconium. *Trop Geogr Med.* 1993;45:165–7.
- Molla YB, Wardrop NA, Le Blond JS, Baxter P, Newport MJ, Atkinson PM, et al. Modelling environmental factors correlated with podoconiosis: A geospatial study of non-filarial elephantiasis. *Int J Health Geograph.* 2014;13:1–12.
- Wanji S, Tendongfor N, Esum M, Che JN, Mand S, Tanga Mbi C, et al. Elephantiasis of non-filarial origin (podoconiosis) in the highlands of north-western Cameroon. *Ann Trop Med Parasitol.* 2008;102:1–12.
- Tekola F, Mariam DH, Davey G. Economic costs of endemic non-filarial elephantiasis in Wolaita Zone, Ethiopia. *Trop Med Int Health.* 2006;11:1136–44.
- Desta A, McBride CM, de Heer H, Watanabe E, Gebreyesus T, Tadele G, et al. The association of beliefs about heredity with preventive and interpersonal behaviors in communities affected by podoconiosis in rural Ethiopia. *Am J Trop Med Hyg.* 2012;87:623–30.
- Deribe K, Mousley SE, Tamiru A, Davey G. Stigma towards a neglected tropical disease: Felt and enacted stigma scores among podoconiosis patients in Northern Ethiopia. *BMC Public Health.* 2013;13:1178.
- Berhan Y. Medical doctors profile in Ethiopia: Production, attrition and retention. *Ethiop Med J.* 2008;46 Suppl 1:1–77.
- Davey G, GebreHanna E, Adeyemo A, Rotimi C, Newport M, Desta K. Podoconiosis: A tropical model of gene-environment interaction? *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2007;101:91–6.
- Tekola-Ayele F, Adeyemo A, Finan C, Hailu E, Sinnot P, Diaz Burlinson N, et al. HLA class II locus and susceptibility to podoconiosis. *N Engl J Med.* 2012;366:1200–8.
- Corachán M. Endemic non-filarial elephantiasis of lower limbs—podoconiosis. *Med Clin (Barc).* 1988;91:97–100.
- Hoelt PHM, Brüske-Hohlfeld I, Salata O. Nanoparticles—known and unknown health risks. *J Nanobiotechnology.* 2004;12:1–15.
- Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect.* 2005;113:823–39.
- Taryn R, Bagby TR, Cai S, Duan S, Thati S, Aires DJ, et al. Impact of molecular weight on lymphatic drainage of a biopolymer-based imaging agent. *Pharmaceutics.* 2012;4:276–95.
- Addisu S, El-Metwally TH, Davey G, Worku Y, Titheradge MA. The role of transforming growth factor  $\beta$ 1 and oxidative stress in podoconiosis pathogenesis. *Br J Dermatol.* 2010;162:998–1003.
- Campo E, Soldevila J, Sentís J, Corachán M. Lymph node biopsy in the diagnosis of endemic non-filarial elephantiasis (podoconiosis). *Med Clin (Barc).* 1988;91:117.
- Deribe K, Tomczyk S, Tekola-Ayele F. Ten years of podoconiosis research in Ethiopia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013;7:e23301. doi:10.1371/journal.pntd.0002301.
- Ferguson JS, Yeshanehe W, Matts PJ, Davey G, Mortimer PS, Fuller LC. Assessment of skin barrier function in podoconiosis: Measurement of stratum corneum hydration and transepidermal water loss. *Br J Dermatol.* 2013;168:550–4.
- Price EW. Pre-elephantiasis stage of endemic nonfilarial elephantiasis of lower legs: «Podoconiosis». *Trop Doctor.* 1984;14:115–9.
- Tekola F, Ayele Z, HaileMariam D, Fuller C, Davey G. Development and testing of a de novo clinical staging system for podoconiosis (endemic non-filarial elephantiasis). *Trop Med Internat Health.* 2008;13:1277–83.
- Barreiro LB, Laval G, Ouach H, Patin E, Quintana-Murci L. Natural selection has driven population differentiation in modern humans. *Nat Genet.* 2008;40:340–5.
- Rawson TM, Rao PVR. Leprosy and lymphatic filariasis comorbidity: The case for an integrated functional limitation grading system. *Lepr Rev.* 2014;85:63–7.
- Shiferawa W, Kebedea T, Graves PM, Golasa L, Gebrec T, Mosherb AW, et al. Lymphatic filariasis in western Ethiopia with special emphasis on prevalence of *Wuchereria bancrofti* antigenaemia in and around onchocerciasis endemic areas. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2012;106:117–27.
- Venkatswami S, Sankarasubramanian A, Subramanyam S. The madura foot: looking deep. *Int J Low Extrem Wounds.* 2012;11:31–42.
- Alemu G, Ayele FT, Daniel T, Ahrens C, Davie G. Burden of podoconiosis in poor rural communities in Gulliso woreda, West Ethiopia. *PLoS Negl Trop Dis.* 2011;5:1–6.

42. Davey G. Recent advances in podoconiosis. *Ann Trop Med Parasitol*. 2009;103:377–82.
43. Sikorski C, Ashine M, Zeleke Z, Davey G. Effectiveness of a simple lymphoedema treatment regimen in podoconiosis management in southern Ethiopia: One year follow-up. *PLoS Negl Trop Dis*. 2010;4:1–5.
44. Davey G, Burridge E. Community-based care of a neglected tropical disease: The mossy Foot Treatment and Prevention Association. *PLoS Negl Trop Dis*. 2009;3:1–6.
45. Tora A, Davey G, Tadele G. Factors related to discontinued clinic attendance by patients with podoconiosis in southern Ethiopia: A qualitative study. *BioMed Central*. 2012;12:1–7.



## ENFERMEADES OLVIDADAS

## Cuando la tierra contagia

La podoconiosis está causada por partículas de minerales que penetran en los pies descalzos. El mal olor y las deformidades que conlleva causan el rechazo social de los enfermos.

LAURA PRIETO PÉREZ | MIGUEL GÓRGOLAS HERNÁNDEZ-MORA | **Gambo (Etiopía)** | 11 AGO 2014 - 18:50 CEST

**Archivado en:** Enfermedades olvidadas | Etiopía | Enfermedades tropicales | África subsahariana | África | Enfermedades | Medicina | Salud



No usar calzado durante el trabajo de la tierra es habitual. / SVETLANA VOLODINA

Gambo es un pueblo pequeño en el distrito de Kore, un área remota de Etiopía a 2.180 metros sobre el nivel del mar. Se trata de una zona de origen volcánico situada en las laderas altas del gran valle del Rift con dos estaciones bien diferenciadas: la época húmeda —que corresponde a nuestros meses de verano— y la seca, desde octubre hasta marzo. En esta región de Etiopía, entre los distritos de Kore y Arsi Negele, la dificultad de acceder a agua potable es la norma.

Las niñas, descalzas, cargan leña y recorren varios kilómetros con bidones amarillos a la espalda para después transportar el agua a casa. También cargan a sus hermanos pequeños. Viven con sus padres y una media de seis hermanos en chozas construidas con un soporte de madera y recubiertas con una mezcla de arcilla y paja, sin ventanas, en cuyo interior encienden un fuego para cocinar y proporcionar calor.

El suelo es de tierra y algunas gallinas corretean también en el interior de la vivienda. Es excepcional que dispongan de ventanas o chimenea, por lo que la transmisión de ciertas enfermedades infecciosas como la lepra o la tuberculosis se ve favorecida por la falta de ventilación. Además, por la caída de los niños al fuego, las quemaduras constituyen un motivo de consulta frecuente en el hospital.



Pies de un paciente con podoconiosis. / SVETLANA VOLODINA

Son las seis de la mañana. Canta un gallo. Suena la campana del [Hospital Rural de Gambo](#). Hay muchos pacientes ahí fuera, pero pocos son los que consultan por un problema al que tradicionalmente se le ha prestado escasa atención. Cuando uno camina por el territorio y pregunta a la población local sobre *dhukuba arba*, la "enfermedad de los pies hinchados", lo más frecuente es que alguien conozca a alguna persona afectada. Una vez localizada, nos dirigimos a su casa, nos interesamos por su problema y le preguntamos por sus costumbres.

Gamachu padece una forma muy evolucionada de una enfermedad llamada [podoconiosis](#) que interfiere en sus actividades cotidianas. Tiene 44 años, es granjero, está casado, tiene cinco hijos y su educación es superior a la de la media. Habla bien el oromo y el

amhárico (el idioma oficial y empleado por las clases sociales más elevadas), y es capaz de comunicarse de manera sencilla en inglés. Sin embargo, obtuvo su primer par de zapatos a los 21 años. Como él, hasta un millón de personas sufren esta enfermedad en Etiopía. Otros muchos también la padecen en otros países del África Tropical, América Central y del Sur, y en el sureste asiático.

La podoconiosis es una enfermedad poco conocida, incluida desde 2011 en la lista de enfermedades olvidadas de la Organización Mundial de la Salud. Se produce por la entrada de micro partículas minerales de silicatos, berilio y circonio a través de la piel en personas que caminan descalzas sobre suelos arcillosos de origen volcánico por encima de los 1.500 metros. Fundamentalmente afecta a los granjeros con economía de subsistencia, en regiones con un alto índice pluviométrico anual. Debido a la evidente deformidad y al mal olor de unos pies en general acostumbrados a la falta de higiene y con infecciones secundarias, las personas que padecen la enfermedad es discriminada por el resto de la población.

Podoconiosis



Los niños son rechazados por sus compañeros hasta el punto de verse obligados a abandonar la escuela. Los adultos son marginados socialmente, con imposibilidad para encontrar pareja o casarse; se les excluye de las reuniones locales de su comunidad, dejan de asistir a la iglesia y, por la incomodidad y el rechazo social, abandonan también sus trabajos. Por todo ello, es fácil imaginar por qué la podoconiosis tiene una repercusión social y económica que, hasta ahora, ha sido infravalorada.

Se calcula que el coste de esta enfermedad, debido a la pérdida de productividad, es de unos 200 millones de dólares al año. En una nación como Etiopía, uno de los diez países más pobres del mundo y con una renta per capita inferior a los mil dólares al año, este dato no debe pasar desapercibido. La economía de este país está basada fundamentalmente en la agricultura, que representa el 45% del PIB, el 90% de las exportaciones y el 80% de la mano de obra.

La población general usa calzado cuando se lo puede permitir. Aunque los padres suelen ir calzados, no acostumbran a comprar zapatos a sus hijos hasta que cumplen, al menos, los 10 años. Así, los pies de los más pequeños se encuentran expuestos a este suelo arcilloso durante todo ese tiempo, el mismo que necesita la enfermedad para desarrollarse. En cualquier caso, la mayor parte de la población suele emplear un zapato de plástico rígido, duro y sin transpiración, motivo por el que muchas veces es más confortable y práctico caminar descalzo, en especial durante la estación de las lluvias. Las arcillas húmedas y pegajosas, adheridas firmemente a la piel y no eliminadas por la habitual falta de higiene, perpetúan durante años su efecto negativo sobre la piel.



La agricultura constituye el modo de vida de la mayor parte de la población en Etiopía / SVETLANA VOLODINA

En los comienzos del siglo XXI pensamos que nuestra obligación es mostrar los efectos de esta enfermedad y ayudar a las autoridades locales para que consigan su erradicación. Y nosotros, ciudadanos de un país como España, con una potente industria del calzado, tal vez debiéramos hacer algo más para este fin. Lo primero, enseñar a prevenirla y en segundo lugar, colaborar en la creación de una industria básica para la fabricación local de calzado por sus propios habitantes. Pocas veces nos parece tan vigente aquel lema de la Ilustración española: *Socorre enseñando*.

\* Laura Prieto Pérez y Miguel Górgolas Hernández-Mora son miembros de idcsalud -Fundación Jiménez Díaz [Máster en Medicina Tropical y Salud Internacional](#) Universidad Autónoma de Madrid

Más información [The Mossy Foot Treatment and Prevention Association \(MFTPA\)](#)

**Etiópia: Abessinia** [Material cartográfico] / M. Kir. Államim térképeszet. -- Escala 1:5.000.000 (E 32°-E 54°/N 18°-S 02°).--Budapest: M. Kir Allamim, 1935. (*Imagen obtenida a través del Instituto Geográfico Nacional. Madrid. España*).



# ETIÓPIA (ABESSZÍNIA)



06  
C.72  
4.34  
አትዮጵያ  
I-T-JO-PI-JA



R-443

M. KIR. ÁLLAMI TÖRZSÉSZET  
BUDAPEST  
1935

